



Universidad
Zaragoza

Trabajo Fin de Grado

Diseño y construcción de una instalación
experimental para ensayos de cavitación
hidrodinámica

Autor

Carlos Martín Vidaller

Directores

José Luis Santolaya Sáenz
Luis Manuel Cerecedo Figueroa

Universidad de Zaragoza / Escuela de Ingeniería y Arquitectura
Año 2015



Escuela de
Ingeniería y Arquitectura
Universidad Zaragoza

DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y ORIGINALIDAD

(Este documento debe acompañar al Trabajo Fin de Grado (TFG)/Trabajo Fin de Máster (TFM) cuando sea depositado para su evaluación).

D./D^a. CARLOS MARTÍN VIDALLER

con nº de DNI 73212853-N en aplicación de lo dispuesto en el art.

14 (Derechos de autor) del Acuerdo de 11 de septiembre de 2014, del Consejo de Gobierno, por el que se aprueba el Reglamento de los TFG y TFM de la Universidad de Zaragoza,

Declaro que el presente Trabajo de Fin de (Grado/Máster)
GRADO, (Título del Trabajo)

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA INSTALACIÓN EXPERIMENTAL PARA

ENSAYOS DE CAVITACIÓN HIDRODINÁMICA

es de mi autoría y es original, no habiéndose utilizado fuente sin ser citada debidamente.

Zaragoza, 1 DE SEPTIEMBRE 2015

Fdo: _____

Diseño y construcción de una instalación experimental para ensayos de cavitación hidrodinámica

Resumen

Este trabajo tiene por objeto el diseño de una instalación experimental para realizar ensayos de cavitación. La formación y desarrollo de burbujas en el líquido está basada en fenómenos hidrodinámicos y, por tanto, en el descenso local de la presión debido al aumento de la energía cinética. El estudio y caracterización de los fenómenos de cavitación es actualmente de gran interés por parte de los investigadores que pretenden aprovechar la elevada energía derivada de la implosión de las burbujas para aplicaciones como el tratamiento y desinfección de aguas.

Para llevar a cabo el diseño de una instalación operativa y adaptable a los requisitos de investigación, se han estudiado diferentes alternativas, de las que finalmente, se ha seleccionado la alternativa basada en la recirculación de líquido mediante bombeo. Además se ha propuesto la utilización de un canal de sección rectangular, de 50x20 mm, para el desarrollo del flujo, en el que se puede situar un obstáculo de forma y tamaño variable, lo que permite el estudio experimental en configuraciones muy diferentes. El canal es de paredes transparentes para facilitar la visualización y aplicar técnicas ópticas de medida (como la anemometría de desfase Doppler) en el flujo de burbujas.

El trabajo ha incluido la determinación del punto de funcionamiento de la instalación. Se han seleccionado la bomba, rotámetro y elementos hidráulicos comerciales basados en tubería de PVC de 63 mm de diámetro y se han diseñado los elementos de adaptación entre la sección circular de la tubería y la sección rectangular del canal. Todo ello se ha montado en una estructura soporte, calculada mecánicamente, al igual que el canal, para soportar los esfuerzos generados. El proyecto ha sido finalmente realizado. La documentación gráfica necesaria para su ejecución se recoge en los Planos y el coste de realización y montaje, considerando diferentes ofertas, en el Presupuesto.

Índice

1.	Fenómenos de cavitación.....	1
1.1.	Formación y desarrollo de burbujas	1
1.2.	Cavitación hidrodinámica.....	4
1.3.	Tipos de cavitación y sus efectos	5
2.	Instalación experimental. Estudio de alternativas.....	8
2.1.	Especificaciones iniciales.....	8
2.2.	Estudio de alternativas.....	9
2.3.	Punto de funcionamiento de la instalación	13
	Conservación de la masa:.....	13
	Conservación de la energía mecánica:.....	14
	Cálculo de pérdidas lineales.....	15
	Cálculo de pérdidas singulares.....	16
	Cálculo del punto de funcionamiento.....	19
3.	Instalación experimental. Componentes de la línea hidráulica	21
3.1.	Componentes hidráulicos comerciales	21
3.2.	Adaptadores	26
3.3.	Zona de ensayos.....	28
4.	Instalación experimental. Elementos estructurales y montaje	31
4.1.	Estructura soporte.....	31
4.2.	Elementos complementarios	32
4.3.	Montaje y método de operación	33
5.	Conclusiones	36
6.	Bibliografía	37

Anexo I. Planos de la instalación.

Anexo II. Cálculos mecánicos.

Anexo III. Presupuesto

1. Fenómenos de cavitación

1.1. Formación y desarrollo de burbujas

Cavitación indica formación de cavidades, ya que la palabra proviene del latín “cavitas”, que significa cavidad o agujero. En este caso, nos estamos refiriendo a la formación de burbujas en el seno de un líquido.

El primer análisis correcto de este fenómeno fue presentado por Reynolds en 1894 (Tovar, 2012). La causa de la aparición de cavitación es una disminución de la presión en el líquido hasta situarse por debajo de la presión de vapor. La formación de burbujas también puede ser causada por un aumento de la temperatura hasta sobrepasar la temperatura de ebullición. Tal y como muestra el diagrama de fases del agua en la Figura 1, la presión de vapor aumenta cuando aumenta la temperatura del líquido, por lo que resulta más fácil que la presión de trabajo tenga valores inferiores a dicha presión de vapor si la temperatura del líquido aumenta.

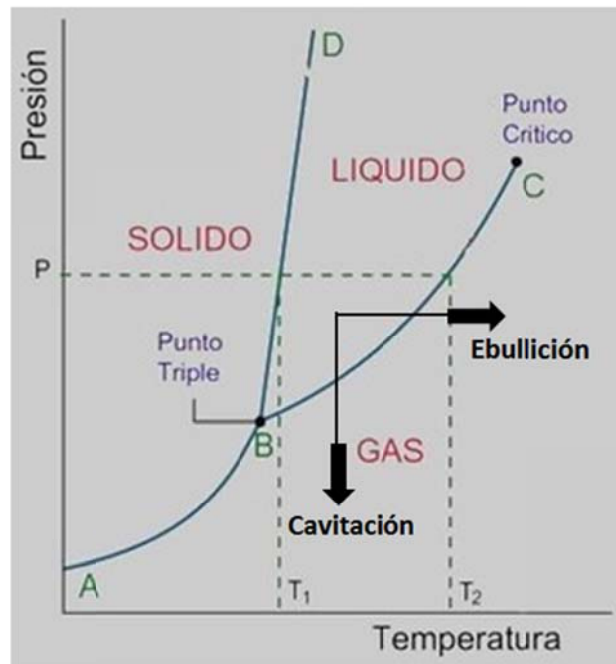


Figura 1. Diagrama de fases del agua.

El tamaño de estas cavidades suele ser superior a unas pocas micras, y los tiempos característicos de duración de estas burbujas se encuentran en el orden de microsegundos (Dopazo, 2008). Éstas son arrastradas con el líquido hasta una región donde se alcanza una mayor presión, y allí desaparecen: se produce el colapso de dichas burbujas, en el cual se generan unas condiciones extremas a su alrededor.

Se distinguen tres etapas principales:

- **Formación o nucleación:** El fluido encuentra zonas de baja presión y se forman pequeñas cavidades en el seno del líquido. Éstas pueden crecer y formar una burbuja (la cual pasará a las siguientes etapas) o disolverse en el mismo líquido, sin dar lugar a

la formación de la burbuja. Una gran barrera para conseguir esta nucleación es vencer la tensión superficial del líquido.

- **Crecimiento:** en la pared de la burbuja interactúan cuatro fuerzas: la asociada a tensión superficial, la generada por la presión en el interior de la burbuja, P_B , la ejercida por el líquido sobre la burbuja a través de una presión exterior P_L y la asociada a los esfuerzos viscosos en la superficie (Figura 2). En función del balance de estas fuerzas, se producirá su crecimiento.

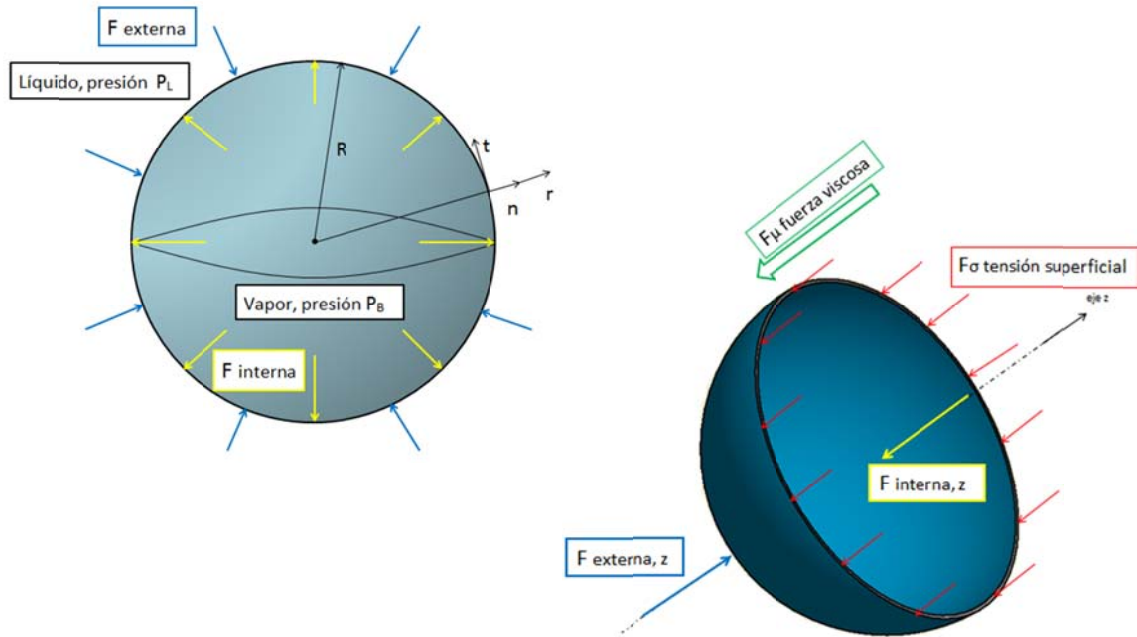


Figura 2. Fuerzas actuando sobre una burbuja.

Fuerzas:

$$F_{\text{interna}} = P_B \cdot 4 \pi R^2$$

$$F_{\text{externa}} = P_L \cdot 4 \pi R^2$$

siendo R el radio de la burbuja,

$$F_\sigma = \sigma_L \cdot L_{\text{característica}},$$

siendo σ_L (N/m), la tensión superficial del líquido

$$F_\mu = - \mu_L \left(\frac{du}{dr} \right) \cdot 4 \pi R^2,$$

siendo μ_L (Pa·s), la viscosidad del líquido

Si se realiza el balance de fuerzas considerando la mitad de la burbuja, la superficie efectiva será la de una circunferencia perpendicular a dicho eje $(\pi R)^2$ y $L_{\text{característica}} = 2\pi R$.

$$F_{\text{externa}}|_z - F_{\text{interna}}|_z = F_{\sigma}|_z - F_{\mu}|_z$$

$$(P_L - P_B) \cdot \pi R^2 = -\sigma \cdot 2 \pi R - \mu_L \left(\frac{dU_z}{dR} \right) \pi R^2$$

$$P_L(t) - P_B(t) = \left(-\frac{2\sigma}{R} \right) - \mu_L \left(\frac{dU_z(t)}{dR} \right)$$

- **Colapso:** Aumenta la presión del fluido (va acercándose a los valores iniciales), la cual comprime a las burbujas, haciendo que el tamaño de éstas vaya disminuyendo (Figura 3). La temperatura del gas contenido aumenta notablemente. Las condiciones que se dan en esta fase son extremas: altas temperaturas, altas presiones, se generan oxidantes como el grupo OH^\cdot (si se trata de un flujo de agua). Estas condiciones extremas que se dan en el colapso se pueden aprovechar, por ejemplo, para eliminar microorganismos que contaminan las aguas.

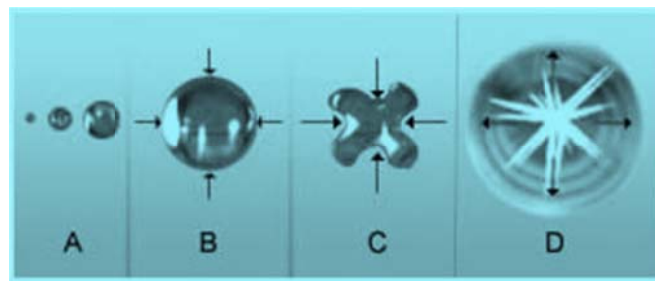


Figura 3. Formación de burbujas y fenómeno de implosión

La aparición y desarrollo del fenómeno de cavitación depende de diferentes factores, además de los ya comentados de Presión y Temperatura. En particular:

- Cualquier sustancia disuelta capaz de reducir la tensión superficial aumenta la formación de burbujas. Los gases disueltos favorecen la cavitación (Gogate et al, 2000). Los gases apolares disueltos como el nitrógeno y el oxígeno del aire, favorecen la cavitación hidrodinámica al desprenderse burbujas debido a una disminución de la presión (de acuerdo a la ley de Henry al disminuir la presión parcial de un gas disuelto en un líquido, disminuye la solubilidad del gas, con la consiguiente posibilidad de que se formen burbujas.). Estas burbujas también son capaces de colapsar.
- La presencia de sales pese a aumentar la tensión superficial, favorece la aparición de burbujas, porque en torno a los iones solvatados las burbujas se forman con mayor facilidad.
- Otra forma de conseguir acentuar el fenómeno de cavitación es recirculando las microburbujas que no llegan a implotar (diámetro inferior a 3 micras), ya que tienen facilidad para aumentar su tamaño al volver a ser sometidas a condiciones de cavitación. En algunas instalaciones experimentales este sistema ha sido empleado para conseguir una cavitación más intensa, mientras que en otros casos estas microburbujas pueden ser un problema porque son difíciles de eliminar.

1.2. Cavitación hidrodinámica

La cavitación hidrodinámica en un líquido se produce esencialmente por las variaciones de velocidad en el flujo debidas a la geometría del sistema. Aplicando el Principio de Bernoulli entre dos puntos de un conducto cerrado (1 y 2), se obtiene:

$$E_{\text{CINÉTICA}} + E_{\text{PRESIÓN}} + E_{\text{POTENCIAL}} = \text{cte}$$

$$\frac{V_1^2 - V_2^2}{2g} + \frac{P_1 - P_2}{\rho g} + z_1 - z_2 = \text{cte}$$

siendo:

V (m/s), velocidad del fluido

P (Pa), presión

z (m), altura o cota

ρ (kg/m³), densidad

g (m/s²), aceleración de la gravedad

Se puede observar que al aumentar la energía cinética o la energía potencial se produce un descenso en la energía de presión. Esto se puede conseguir si el líquido pasa por un estrechamiento (efecto Venturi). En la Figura 4, se puede observar este balance de energía, considerando además las pérdidas de carga.

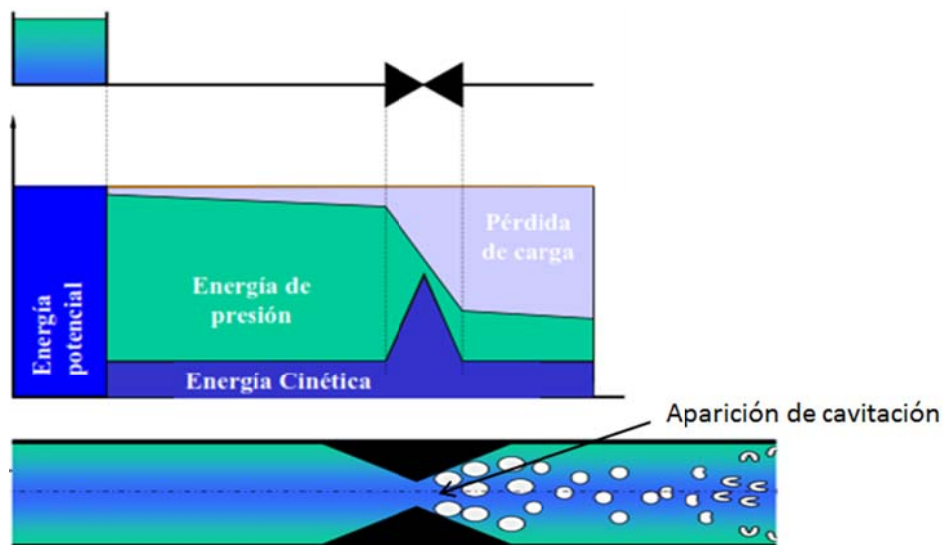


Figura 4. Balance de energía en instalación con estrechamiento.

Considerando que las pérdidas de carga son despreciables y que no hay variación significativa de energía potencial, se obtiene que:

$$\frac{\rho \cdot (V_1^2 - V_2^2)}{2} = P_2 - P_1$$

Aplicando la conservación de la masa, con fluidos incompresibles el flujo de líquido se mantiene constante a lo largo del conducto y se obtiene que:

$$\rho/2 \cdot v_2^2 \cdot \left(\frac{S_2^2}{S_1^2} - 1 \right) = P_2 - P_1$$

siendo:

S_1 y S_2 las secciones de paso en los puntos 1 y 2 del conducto

1.3. Tipos de cavitación y sus efectos

Según el origen de la cavitación, podemos distinguir cuatro grupos (Gogate et al, 2009):

- **Cavitación hidrodinámica:** ya se ha descrito en el apartado anterior. Ha sido observada por numerosos científicos, siendo Newton el primero en recoger observaciones de cavitación en zonas de baja presión en líquidos (Young, 1999). Se logra disminuyendo la presión en el líquido a través del aumento de la energía cinética.
- **Cavitación ultrasónica o acústica:** su origen se encuentra en la propagación de ondas de presión en un líquido. Las ondas producen variaciones de presión, y mediante ultrasonidos se modifican y controlan estas variaciones, que pueden dar lugar a la formación de burbujas. Durante décadas ha sido la principal forma de generar la cavitación. Mediante este tipo de cavitación se logra la atomización de un líquido en gotas muy pequeñas (Clavel, 2014). El efecto es similar a una “rotura” del agua. Desde hace pocos años se está implantando en el mundo de la estética y adelgazamiento: mediante cavitación ultrasónica, las paredes de las células de grasa se rompen y la grasa licuada se libera por el organismo de forma natural.
- **Cavitación por láser u óptica:** la evaporación del líquido se provoca mediante un haz de fotones de luz de alta intensidad (un láser) que atraviesa el líquido. El foco que origina las burbujas es una zona puntual, y por ello sólo permite generar una única burbuja aislada. También se le denomina cavitación inducida por radiación.
- **Cavitación por partículas:** se utiliza un haz de partículas elementales (como puede ser un protón) en lugar de un haz de luz para la evaporación del líquido.

También se puede hacer una clasificación atendiendo a cómo es la disminución de presión que provoca la cavitación y al tiempo durante el que se da:

- **Cavitación general:** la presión media del sistema alcanza el valor de la presión de vapor del fluido.
- **Cavitación local:** una disminución local de la presión lleva a la cavitación. Se da en irregularidades de la superficie sobre la cual avanza el fluido.
- **Cavitación transitoria:** dura un periodo de tiempo finito, y puede ser provocado por diversas causas transitorias.
- **Cavitación permanente:** la cavitación no cesa. Es impensable que se dé esta cavitación en equipos hidráulicos dados los perjuicios que conlleva la cavitación sobre sus superficies.

La cavitación permanente sobre equipos e instalaciones hidráulicas genera:

- Deterioro de partes móviles (álabes de turbinas, rodets de bombas, hélices de barcos) o partes fijas (válvulas, tuberías, estrechamientos, etc.) (Mataix, 1993). En la figura 5 se muestran algunas de estos efectos.



Figura 5. Efectos negativos de la cavitación sobre válvula de mariposa y rodete

- Reducción de la eficiencia de trabajo, ya que la aparición y posterior colapso de las burbujas crea fricción y turbulencias en el líquido.
- Aumenta el coste de mantenimiento.
- Acorta la vida útil de timones y hélices de los barcos, y en submarinos, imposibilita mantener sus características operativas de silencio e indetectabilidad debido a las vibraciones y ruidos que provoca la cavitación en las hélices y el casco.

También tiene importantes efectos negativos en cauces de ríos donde:

- Las burbujas se generan debido a irregularidades del lecho, disociando agua y aire. Se descomponen en tamaños microscópicos e impactan a gran velocidad sobre el lecho y contribuyen a su erosión.
- Frecuentemente erosiona los pilares de los puentes

Debido a las anteriores razones, tradicionalmente la cavitación hidrodinámica se ha tomado como un fenómeno no deseado.

Actualmente, se estudia aprovechar la gran energía liberada en el colapso de las burbujas, que puede sobrepasar los 1000 bar (Mataix, 1993), para, entre otras aplicaciones, realizar la desinfección de agua. La desinfección es una de las etapas más importantes en el tratamiento de aguas destinadas al suministro público. Actualmente se desinfecta mediante cloración, ozonización o tratamiento con otros productos químicos y tratamientos físicos (radiación ultravioleta o tratamientos térmicos, por ejemplo). (Arrojo, 2007)

Los desinfectantes químicos deben añadirse al agua en mayor o menor cantidad en función de la carga bacteriana (reactivo limitante). Si la concentración de bacterias es alta, es necesario añadir mayor cantidad de desinfectante y, por tanto, supone un mayor coste. Mientras tanto,

la cavitación es un proceso físico y su efectividad no debería estar demasiado condicionada por la concentración de bacterias (Bueno, 2012)

En otras aplicaciones la cavitación se utiliza como proceso avanzado de oxidación y puede llevarse a cabo con fines químicos o biológicos (González -Labrada et al, 2010).

- **Tratamiento de aguas residuales y contaminadas:** puede emplearse eficazmente para la destrucción de contaminantes persistentes debido a la elevada concentración de especies oxidantes generadas durante el proceso de cavitación. Los radicales hidroxilos que se forman al cavitarse son los principales agentes oxidantes, aunque también influyen las altas temperaturas y presiones durante la implosión de las burbujas. Con estas condiciones se llega a lograr la formación, durante instantes, de agua supercrítica ($T > 374\text{ }^{\circ}\text{C}$, $P > 221\text{ atm}$).
- **Generación de biocombustible** (Towerton, 2007) la generación de biodiesel a partir de grasas y aceites es otro campo de estudio. En particular, la emulsión de triglicéridos por las vibraciones generadas al implotar la burbuja podría realizarse a temperaturas inferiores a las actuales y así disminuir el tiempo de reacción.
- **Biotecnología:** la rotura de células es un proceso que permite recuperar proteínas intracelulares. Esta operación requiere la utilización de grandes cantidades de energía. La cavitación puede emplearse de forma efectiva para llevar a cabo la ruptura de las células con un consumo energético entre un 5% y un 10% del consumo convencional. Además, posibilita la selección en función de si el interés se encuentra en las proteínas intracelulares o simplemente en proteínas adheridas a las paredes de las células. Para este tipo de aplicación se ha encontrado la cavitación hidrodinámica mucho más efectiva que la ultrasónica, a pesar de que ofrece un menor control y repetibilidad.
- **Sonocristalización.** Se trata de un tipo de cristalización en la que, utilizando cavitación ultrasónica, se obtienen productos de alto valor (con menos impurezas). La cavitación influye en diversos parámetros de la cristalización: estabiliza la zona de nucleación primaria, mejora la colocación de las celdas elementales, reduce las aglomeraciones y se puede controlar la distribución cristalina, ya que la cavitación controla el proceso de nucleación.

A continuación y después de describir brevemente en qué consiste la cavitación y los fenómenos asociados a ella, se presenta el proceso de diseño de una instalación experimental para ensayos de cavitación hidrodinámica.

En el capítulo 2 se indican las especificaciones iniciales de diseño, las diferentes alternativas que se han propuesto con las ventajas e inconvenientes de cada una. Por último, se han realizado los cálculos hidráulicos de la alternativa elegida, cuya construcción se ha llevado a cabo.

En el capítulo 3 se describe en detalle todos los componentes de la instalación, materiales empleados y características para un correcto montaje y funcionamiento.

El capítulo 4 engloba el montaje, la puesta en marcha de la instalación y las pruebas de funcionamiento. También se describen otros elementos adicionales que a la hora de montar la instalación han sido utilizados y se explica cuál es el método de operación para poder trabajar con la instalación.

2. Instalación experimental. Estudio de alternativas.

2.1. Especificaciones iniciales

- 1) La presión en la zona de ensayos tiene que adquirir el valor de la **presión de vapor**. Este parámetro depende de la temperatura y aumenta progresivamente con ella.

$$P_{\text{zona de ensayos}} = P_{\text{vapor}}; \quad P_{\text{vapor}} = f(\text{Temperatura})$$

En el caso del agua, la presión de vapor para diferentes temperaturas se muestra en la Tabla 1. (Moran et al, 2004)

T (°C)	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
P_{vapor} (bar)	0.0087	0.0107	0.0170	0.0232	0.0316	0.0424	0.0562	0.0738	0.0959	0.1235
T (°C)	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
P_{vapor} (bar)	0.1576	0.1999	0.2504	0.3119	0.3859	0.4741	0.5786	0.7018	0.8460	1

Tabla 1. Propiedades del agua saturada líquido-vapor.

- 2) El flujo en la zona de ensayos ha de tener una componente de velocidad predominante, reduciendo la influencia de los efectos de pared. Por tanto, la sección de la zona de ensayos deberá tener una dimensión muy superior a la otra.

$$\text{Anchura/altura} \gg 1$$

- 3) La zona de ensayos debe tener **acceso óptico** para emplear los equipos de medida previstos en la caracterización de los fenómenos de cavitación. En particular, las paredes que confinan el flujo han de ser transparentes y planas con objeto de utilizar el sistema PDA (Analizador de partículas por desfase-Doppler) que se muestra en la Figura 6.

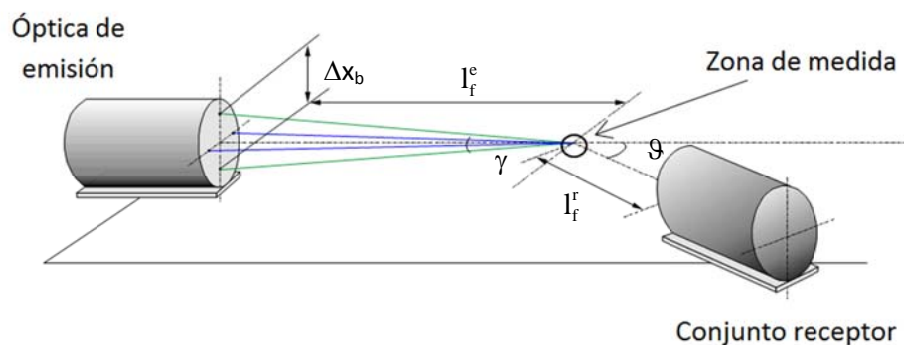


Figura 6. Montaje óptico del sistema PDA.

Este sistema es capaz de medir la velocidad y el tamaño de partículas (en este caso, burbujas) que atraviesan una pequeña región del espacio definida por la interferencia de dos haces de luz láser. Se compone de una fuente de luz láser, la óptica de emisión que establece el patrón de interferencia, un conjunto de recepción y unos procesadores que analizan la señal recibida.

Si γ es el ángulo entre haces, para realizar las medidas en la sección de la zona de ensayos se deberá cumplir:

$$2\text{Altura} / \text{Anchura} > \tan \gamma$$

Para cumplir estas especificaciones, se consideró adecuada tomar como sección mínima de ensayos una sección rectangular de 50 mm de longitud y 5 mm de altura (250 mm^2).

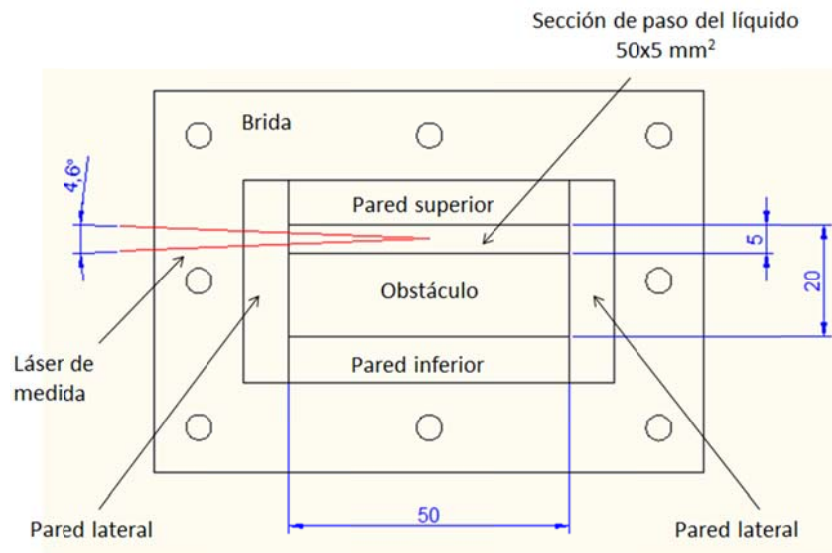


Figura 7. Especificaciones en la sección de paso

- 4) El flujo en la zona de ensayos debe mostrar estabilidad durante el tiempo de adquisición de datos. De esta forma, se pretende mantener condiciones de generación de cavitación estables y disponer de suficientes datos para determinar parámetros temporales promedio.

$$Q_{\text{zona de ensayos}} \neq f(\text{tiempo})$$

- 5) La presencia de núcleos de cavitación o burbujas que no sea controlada a través del propio proceso de generación debe ser mínima. De esta forma, se pretende controlar los factores que intervienen en el proceso de generación de burbujas.

2.2. Estudio de alternativas

Se analizaron tres alternativas. En cada caso se detallan los principios de funcionamiento, los elementos que las componen y las principales ventajas y desventajas que se observan en su diseño.

Alternativa 1

Instalación basada en el trasvase de líquido entre dos depósitos a presión atmosférica y situados a diferente cota (Figura 8). La cavitación se produce en un canal experimental por el que circula el líquido debido a la diferencia de energía potencial entre los dos depósitos.

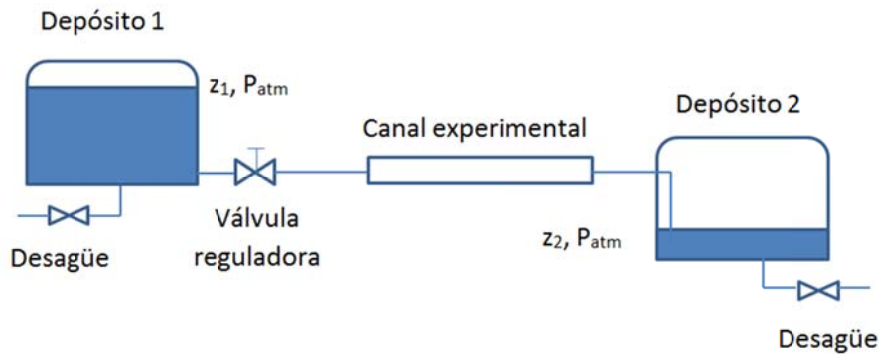


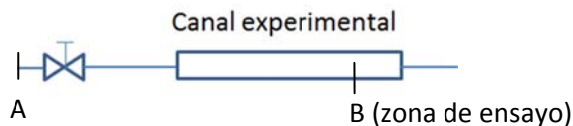
Figura 8. Alternativa 1: esquema de la instalación.

Si la velocidad es la misma en los dos depósitos y ambos están a presión atmosférica, la diferencia de altura hidráulica viene dada por la siguiente expresión:

$$\left. \begin{aligned} H_1 &= \frac{V_1^2}{2g} + \frac{P_1}{\rho g} + z_1 \\ H_2 &= \frac{V_2^2}{2g} + \frac{P_2}{\rho g} + z_2 \end{aligned} \right\} H_1 - H_2 = z_1 - z_2$$

Cuando la instalación entre en funcionamiento, z_1 y z_2 varían con el tiempo como consecuencia del vaciado del depósito 1 y el llenado del depósito 2. Por tanto, el flujo no será constante. En estas condiciones, la alternativa 1 solo podría ser viable si el tiempo de ensayo fuera muy pequeño o el caudal suficientemente bajo. Se podría recurrir a depósitos de gran capacidad, pero esta opción se descarta por la gran envergadura y elevado coste que supone para una instalación de laboratorio.

A partir de la ecuación derivada del principio de Bernoulli y tomando como secciones de referencia, las de una tubería convencional de 63 mm de diámetro exterior (57 mm de interior) y la sección rectangular de ensayos de 250 mm² propuesta anteriormente, se puede hacer una estimación del caudal necesario para generar condiciones de cavitación.



$$\frac{\rho \cdot (V_B^2 - V_A^2)}{2} = P_A - P_B$$

$$\rho/2 \cdot Q^2 \cdot \left[\frac{1}{S_B^2} - \frac{1}{S_A^2} \right] = P_A - P_B$$

Si:

$$S_A = \pi/4 \cdot \phi^2 = \pi/4 \cdot 57^2 = 2551,7 \text{ mm}^2$$

$$S_B = L \times h = 50 \times 5 = 250 \text{ mm}^2$$

$$\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$$

$$P_B = P_{\text{vapor}} (T=15^\circ\text{C}) = 0.017 \text{ bar}$$

Para una variación de la presión, $P_B - P_A \approx 10^5 \text{ Pa}$ se obtiene $Q = 12.7 \text{ m}^3/\text{h}$. Este caudal es muy elevado, por lo que la alternativa 1 no resulta adecuada.

Alternativa 2

Instalación basada en el trasvase de líquido entre dos depósitos despresurizados situados a diferente cota (Figura 9).

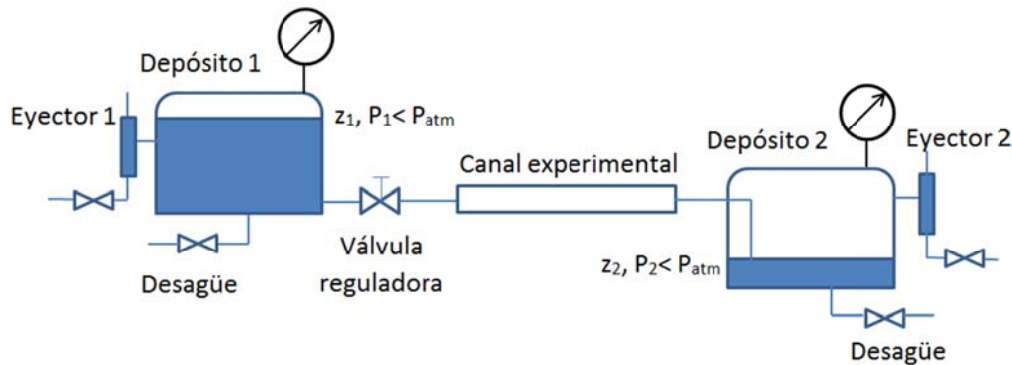


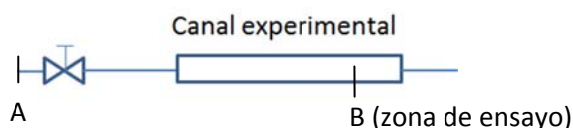
Figura 9. Alternativa 2: esquema de la instalación.

La diferencia de altura hidráulica viene dada por la siguiente expresión:

$$H_1 - H_2 = z_1 - z_2 + \frac{P_1 - P_2}{\rho g}$$

En este caso se pretende controlar la presión de aire en los depósitos mediante eyectores que pueden extraer el aire y disminuir la presión por debajo de la P_{atm} . De esta forma, las variaciones en z_1 y z_2 se podrían regular y obtener $H_1 - H_2 \approx \text{cte}$.

Otro objetivo que se persigue es manejar condiciones de presión que faciliten la cavitación en la zona de ensayos. De nuevo partiendo de la ecuación derivada del principio de Bernoulli, se observa que:



$$\frac{\rho \cdot (V_B^2 - V_A^2)}{2} = P_A - P_B$$

$$\rho/2 \cdot Q^2 \cdot \left[\frac{1}{S_B^2} - \frac{1}{S_A^2} \right] = P_A - P_B$$

Si P_A disminuye, el caudal de líquido para generar condiciones de cavitación también puede ser menor. En su caso, la sección en la zona de ensayos también podría modificarse haciéndose de mayor tamaño.

De esta forma, si se mantiene S_B :

$$S_A = \pi/4 \cdot \phi^2 = \pi/4 \cdot 57^2 = 2551,7 \text{ mm}^2$$

$$S_B = L \times h = 50 \times 5 = 250 \text{ mm}^2$$

$$\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$$

$$P_B = P_{\text{vapor}} (T=15^\circ\text{C}) = 0.017 \text{ bar}$$

$$P_A = 0.5 \text{ bar}$$

Se obtiene $Q = 9 \text{ m}^3/\text{h}$

Y si se mantiene Q :

$$S_A = \pi/4 \cdot \phi^2 = \pi/4 \cdot 57^2 = 2551,7 \text{ mm}^2$$

$$\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$$

$$P_B = P_{\text{vapor}} (T=15^\circ\text{C}) = 0.017 \text{ bar}$$

$$P_A = 0.5 \text{ bar}$$

$$Q = 12.7 \text{ m}^3/\text{h}$$

Se obtiene $S_B = 350 \text{ mm}^2$

Conviene destacar que el término de presión no va elevado al cuadrado, por lo que su influencia para obtener $P_B = P_{\text{vapor}}$ es menor que el de otras variables. Para implementar esta alternativa se requieren sensores y actuadores con tiempos de respuesta suficientemente rápidos y en general, un sistema de control del aire complejo y costoso. Además, como sucede en la alternativa 1, sería necesario prever el trasvase inverso del líquido desde el depósito 2 al depósito 1 para volver a repetir el experimento, ya que hacer un abastecimiento continuo de la red supondría un gasto de agua desorbitado con tomas de agua y desagües especialmente preparadas.

Alternativa 3

Instalación basada en la recirculación de líquido mediante bombeo (Figura 10).

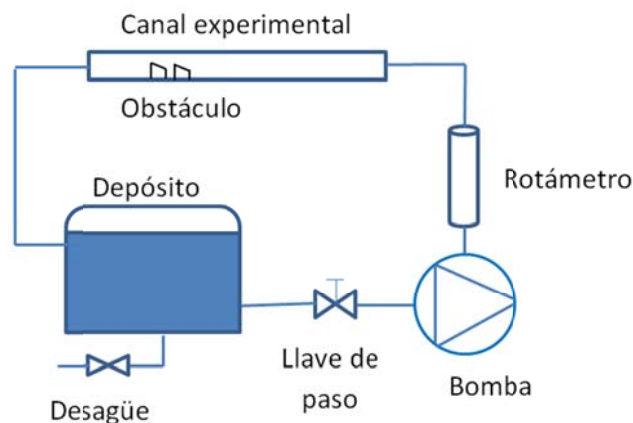


Figura 10. Alternativa 3: esquema de la instalación.

La bomba permite mantener un flujo continuo, estable y más fácil de regular. El líquido se almacena en un único depósito, lo que reduce el tamaño global de toda la instalación. No es necesario un trasvase de agua entre depósitos. El funcionamiento en condiciones de cavitación en la zona de ensayos se puede mantener en el tiempo facilitando la caracterización y la realización de medidas en el flujo.

El agua, que inicialmente se encuentra en reposo en el depósito, es bombeada hacia la zona de ensayos. Antes de llegar a ella, se mide el caudal que se está manejando en cada momento mediante un rotámetro. Es necesario incluir unos elementos de adaptación del flujo para conseguir la transición de la tubería de sección circular y diámetro 63 mm a la sección rectangular de 50x20 mm del canal. Además, se prevé una zona previa de acondicionamiento de flujo, para que éste llegue completamente desarrollado a la zona de ensayos.

Es posible que la bomba pueda generar núcleos de cavitación o que las burbujas ya generadas en el canal experimental recirculen y no desaparezcan en zonas de alta presión. Estos inconvenientes se minimizarán trabajando en un punto de funcionamiento óptimo y, en su caso, añadiendo elementos captadores de burbujas. También se prevé la colocación de válvulas y elementos de regulación en puntos alejados de la zona de ensayos.

El depósito se encuentra a P_{atm} y por sus dimensiones es una zona de ralentización del flujo. Esto lo convierte en un elemento de la instalación apropiado para la eliminación de burbujas. Además se pueden disponer otros elementos auxiliares. Por otra parte, el canal experimental puede situarse a una altura adecuada para la utilización de equipos de visualización y medida. Esta alternativa ha sido la seleccionada para desarrollar y construir la instalación. A continuación se detallan los elementos que la componen y los cálculos para determinar el punto de funcionamiento.

2.3. Punto de funcionamiento de la instalación

En este apartado se aplican los principios de conservación de masa y energía y se realiza el cálculo de pérdidas lineales en conductos y pérdidas singulares en elementos hidráulicos (codos, cambios de sección, válvula, equipos de medida,...). El punto de funcionamiento de la instalación se obtiene a partir de la curva pasiva de la instalación (la cual va a ser calculada) y la curva de la bomba (suministrada por el fabricante).

Algunos cálculos se han realizado desde un punto de vista conservador, por ejemplo al tomar la rugosidad del PVC como un valor mayor que el de tuberías lisas en el diagrama de Moody, redondear al alza longitudes de tubería o a la baja diámetros de las mismas, lo cual ocasiona mayores pérdidas.

Conservación de la masa:

$$\dot{m} = \text{cte}$$
$$\rho \cdot V \cdot S = \text{cte}$$

siendo:

ρ (Kg/m^3), densidad del líquido

V (m/s), velocidad

S (m^2), sección de paso

En situaciones de fluido incompresible (como este caso), una reducción en la sección de paso del líquido supone un incremento de su velocidad.

Conservación de la energía mecánica:

$$H_2 - H_1 = H_B - h_L$$

siendo:

$H_2 - H_1$ = altura hidráulica de elevación

H_B = altura hidráulica de bombeo

h_L = altura hidráulica de pérdidas en la línea

La diferencia de alturas hidráulicas entre dos puntos de la instalación viene dada por la altura de bombeo menos la altura de pérdidas, o bien, la altura hidráulica que tiene que proporcionar la bomba es la diferencia de alturas entre esos dos puntos más la altura de pérdidas.

$$H_B(Q) = \Delta H + h_L(Q)$$

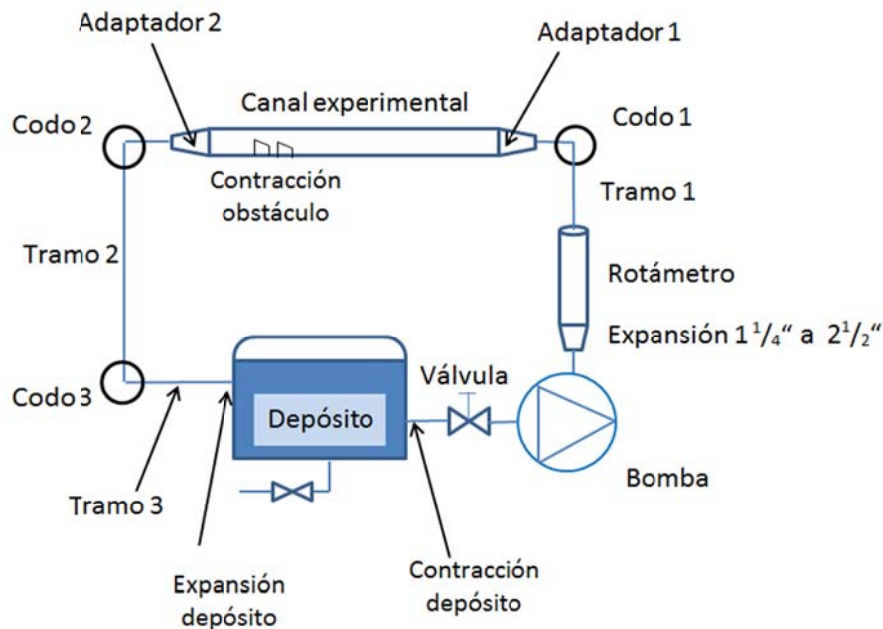


Figura 11. Esquema de la instalación con elementos que producen pérdidas.

Altura de pérdidas en la línea, $h_L(Q)$

Se va a proceder al cálculo de las pérdidas de carga que se producen en la instalación diseñada. Éstas se dividen en dos grupos: las pérdidas lineales (que tienen lugar en conductos) y las singulares (en elementos como codos, válvulas, variaciones de sección de paso, etc.):

$$h_L(Q) = h_{\text{LINEALES}}(Q) + h_{\text{SINGULARES}}(Q)$$

siendo,

$$h_{\text{LINEALES}} = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{Q^2}{2g \cdot S^2}$$

$$h_{\text{SINGULARES}} = K_S \cdot \frac{Q^2}{2g \cdot S^2}$$

donde:

$f = f\left(\text{Re}, \frac{\varepsilon}{D}\right)$, factor de pérdidas lineales

L (m), longitud de la línea

D (m), diámetro de la línea

Q (m³/s), caudal transportado

g (m/s²), aceleración de la gravedad

S (m²), sección de paso

$K_s = K_s\left(\text{Re}, \frac{\varepsilon}{D}, \frac{L_{eq}}{D}\right)$, factor de pérdidas singulares

Cálculo de pérdidas lineales

En la siguiente tabla se muestran los valores de pérdidas en cada tramo de la instalación:

ZONA DE PÉRDIDAS LINEALES	ε [mm]	D^* [mm]	Re	$f\left(\text{Re}, \frac{\varepsilon}{D}\right)$	L [mm]	$h_{\text{LINEALES}}(Q)^{**}$
Tramo 1 Tubería PVC	0,0015	57	112.815	0,018	1500	$3.707 Q^2$
Adaptador 1 (POM)	0,0015	28,57	225.078	0,016	200	$13.890 Q^2$
Canal de experimentación (Metacrilato)	0,0015	28,57	225.078	0,016	1000	$69.452 Q^2$
Adaptador 2 (POM)	0,0015	28,57	225.078	0,016	200	$13.890 Q^2$
Tramo 2 Tubería PVC	0,0015	57	112.815	0,018	1500	$3.707 Q^2$
Tramo 3 Tubería PVC	0,0015	57	112.815	0,018	500	$1235 Q^2$
TOTAL						$105.885 Q^2$

Tabla 2. Pérdidas lineales en la instalación

* En el canal de experimentación y adaptadores, se indica el diámetro hidráulico:

$$D_h = 4 \cdot \frac{A}{P} = 28,57 \text{ mm}$$

En los adaptadores, donde la sección varía de circular a rectangular, se ha utilizado para el cálculo la menor (que es la rectangular).

** Las unidades de Q son m³/s.

El factor de pérdidas se determina a partir del diagrama de Moody (Figura 12), donde:

ε , rugosidad del conducto (Meadows et al, 2002)

Re, número de Reynolds, $\text{Re} = \frac{V \cdot D}{\nu}$, donde: $\nu_{\text{agua}} = 1,1 \cdot 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$

Por ejemplo para $\frac{\varepsilon}{D} = \frac{0.015}{57} \approx 0,00026$ y $\text{Re} = 112815 \rightarrow f_{\text{MOODY}} = 0,018$

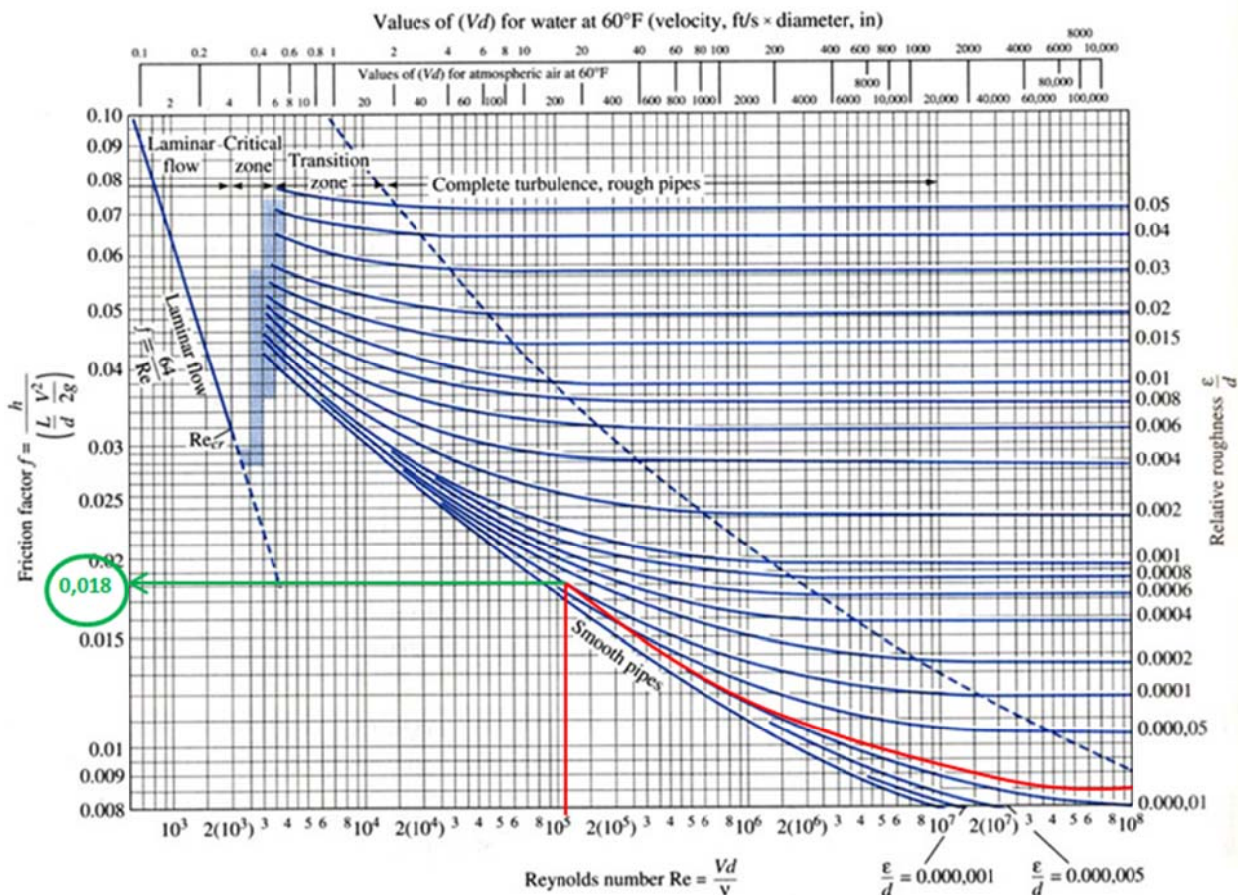


Figura 12. Diagrama de Moody.

Cálculo de pérdidas singulares

$$h_{\text{SINGULARES}} = K_s \frac{v^2}{2g} \cdot f \cdot \frac{L_{eq}}{D} \cdot \frac{v^2}{2g} = f \cdot \frac{L_{eq}}{D} \cdot \frac{Q^2}{A^2} = f \cdot \frac{L_{eq}}{D^5} \cdot \frac{8Q^2}{\pi^2 g}$$

L_{eq} es la longitud equivalente de un determinado elemento singular. Se obtiene a partir de los Nomogramas, que aparecen en la Figura 13. (Mataix, 1993).

En este caso se ha representado cómo se calcula L_{eq} de un codo de 63mm de diámetro interior. Mediante una recta se une el punto donde aparece el elemento a estudiar (columna izquierda) con el punto del diámetro interior (columna derecha). Dicha recta corta con la columna vertical central, para obtener el valor L_{eq} .

De forma análoga, se procede al cálculo de las pérdidas singulares en el resto de elementos de la instalación, a excepción de la contracción y expansión entre tubería y depósito, que al existir variaciones tan bruscas de sección se ha optado por calcularlos directamente a partir del coeficiente K_s (Fueyo, 2011). Los valores numéricos se reflejan en la tabla 3:

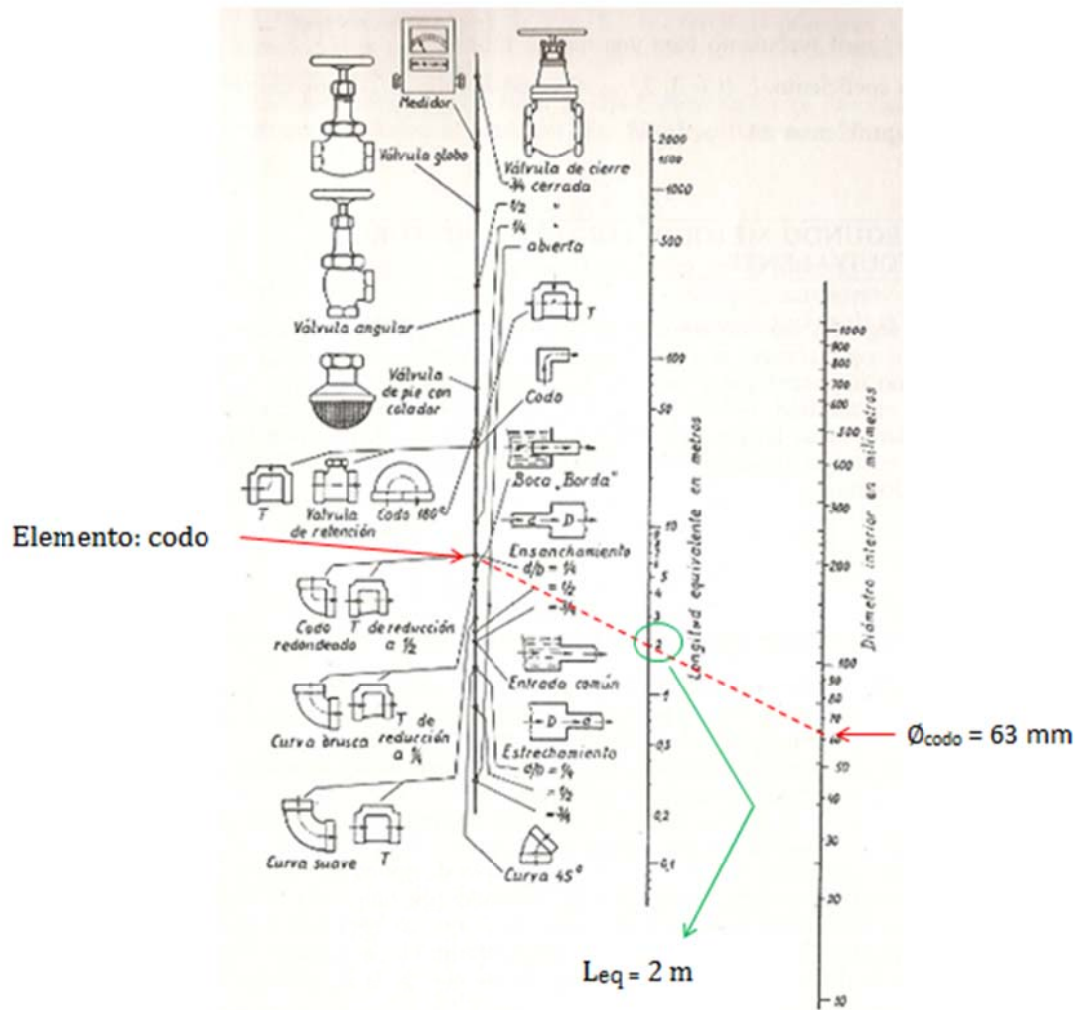


Figura 13. Nomogramas de longitudes equivalentes.

ELEMENTO	ϵ [mm]	D [mm]	Re	f_{MOODY}	L_{eq} [m]	K_s	$H_{\text{singulares}} [f(Q)]^*$
Válvula de compuerta 100% abierta	0,0015	50	128.610	0,017	0,35	0,12	$1.573 Q^2$
Expansión bomba-rotámetro	0,0015	32	200.953	0,016	0,6	0,3	$23.639 Q^2$
Rotámetro	0,0015	63	102.071	0,018	33	9,42	$49.454 Q^2$
Codo 1	0,0015	63	102.071	0,018	2	0,571	$2.997 Q^2$
Contracción obstáculo	0.0015	9,09	183.636	0,017	0,18	0,33	$274.522 Q^2$
Codo 2	0,0015	63	102.071	0,018	2	0,571	$2.997 Q^2$

Codo 3	0,0015	63	102.071	0,018	2	0,571	2.997 Q ²
Expansión depósito	-	-	-	-	-	1***	5.245 Q ²
Contracción depósito	-	-	-	-	-	0,44***	2.307 Q ²
TOTAL							365.735 Q²

Tabla 3. Valores de pérdidas en elementos singulares.

* En la contracción generada por el obstáculo, se indica el diámetro hidráulico:

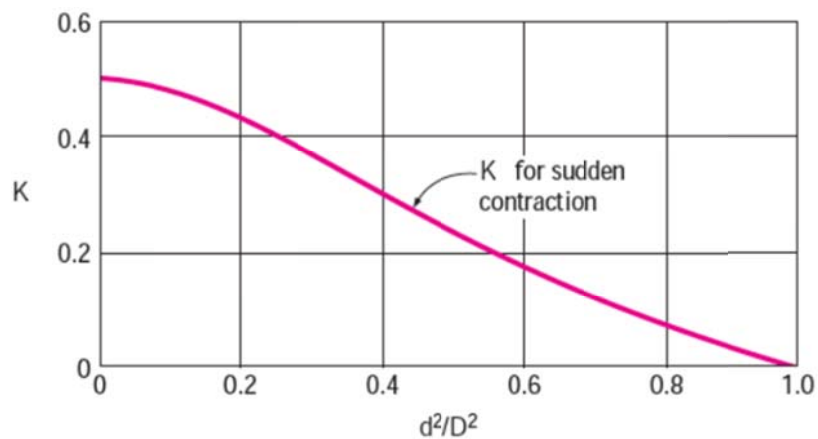
$$D_h = 4 \cdot \frac{A}{P} = 9,09 \text{ mm}$$

** Q está expresado en m³/s

*** Para calcular la constante Ks correspondiente a la expansión de la entrada del depósito, se ha utilizado la siguiente ecuación:

$$K_s = \left(1 - \frac{d^2}{D^2}\right)^2, \text{ siendo "d" el diámetro menor y "D" el mayor.}$$

En el cálculo de Ks de la contracción a la salida del depósito se ha utilizado la gráfica siguiente:



Cálculo del punto de funcionamiento

El punto de funcionamiento se puede obtener a partir del punto de corte entre la curva característica de la bomba y la curva pasiva de la instalación.

$$H_B(Q) = \Delta H + h_L(Q)$$

$\Delta H = 0$, para un flujo en recirculación,

$$h_L(Q) = h_{\text{LINEALES}}(Q) + h_{\text{SINGULARES}}(Q) = 471.620 Q^2 \text{ (Q en m}^3/\text{s)} \\ = 0,0364 Q^2 \text{ (Q en m}^3/\text{h)}$$

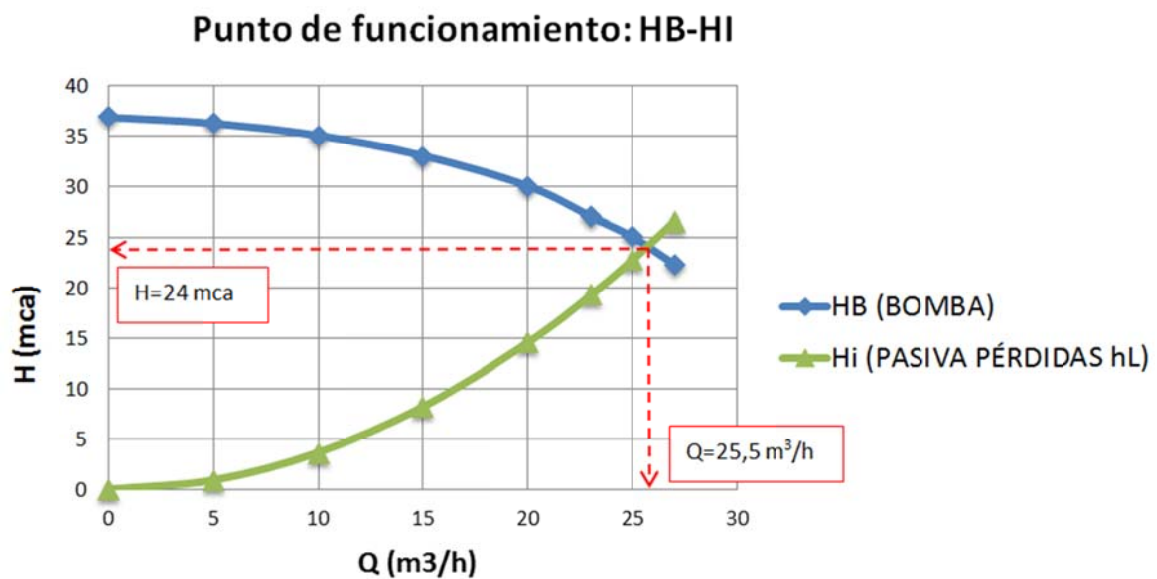


Figura 14. Curvas de bomba y pasiva de la instalación. Punto de funcionamiento

Para modificar la curva de la bomba y poder alcanzar un punto de funcionamiento que tenga valores menores a los obtenidos, se utiliza un variador de frecuencia. Este elemento varía las revoluciones de giro de la bomba, haciendo que cambie su curva característica.

Disminuyendo las revoluciones de la bomba mediante el variador de frecuencia, su curva se desplaza hacia abajo en el diagrama, consiguiendo así un caudal y altura de funcionamiento menores. Puede observarse gráficamente en la siguiente imagen (Figura 15).

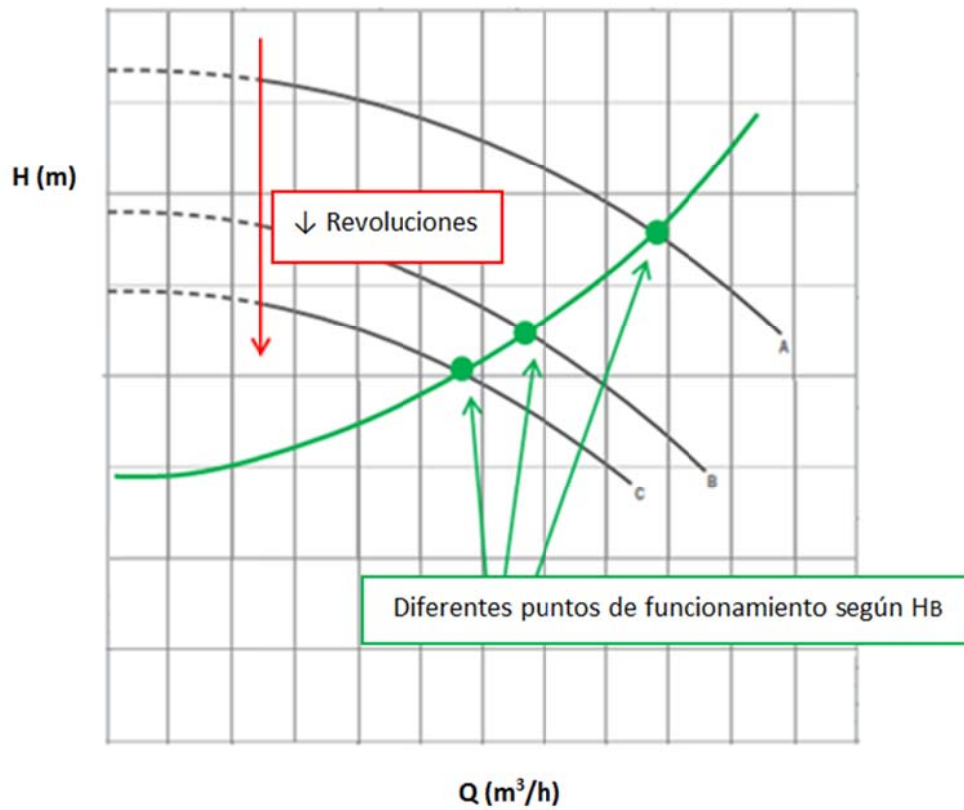


Figura 15. Variación de H_b según las revoluciones de la bomba

Mediante relaciones de análisis dimensional se obtienen los puntos de la nueva curva de la bomba. A continuación se muestra cómo obtener los caudales y alturas energéticas resultantes de pasar de N a N' revoluciones. Se ha supuesto semejanza completa: se desprecian los efectos de variación del nº de Reynolds.

$$\frac{H'}{H} = \left(\frac{N'}{N}\right)^2 * \left(\frac{D'}{D}\right)^2 \quad \frac{Q'}{Q} = \frac{N'}{N} * \left(\frac{D'}{D}\right)^3$$

Como el diámetro se mantiene constante, y sólo varían las revoluciones, se obtienen las relaciones siguientes:

$$H' = H \left(\frac{N'}{N}\right)^2 \quad Q' = Q \left(\frac{N'}{N}\right)$$

3. Instalación experimental. Componentes de la línea hidráulica

3.1. Componentes hidráulicos comerciales

Los siguientes componentes de la instalación han sido seleccionados directamente de catálogos comerciales. De cada uno de ellos se detallan sus principales características:

DEPÓSITO

Características:

Depósito troncocónico con tapa, de base rectangular, capacidad de 300 litros, fabricado en poliéster (Recubierto de gelcoat isoftálico).

Dimensiones

(Longitud x anchura x altura):

1040 x 720 x 570 mm



BOMBA CENTRÍFUGA CM 32-160 A

Características:

Presión máxima de trabajo: 10 bar

Temperatura del líquido: -10 a 90°C

Tipo de motor:

2 polos a inducción 3 ~ 230/400V-50Hz

Clase de aislamiento: F

Grado de protección: IP55



La siguiente tabla muestra las características de la bomba en cuanto a potencias, corriente que consume y relación entre caudales y alturas energéticas que es capaz de suministrar. La fila marcada es la correspondiente a la bomba seleccionada.

TYPE	P2 nom.		P1 max	I 3x400V 50 Hz	Q (m³/h) / Q (l/min)														
					0	4,5	6	7,5	9	12	15	18	21	24	27	30	33	36	
	(HP)	(kW)	(kW)		0	75	100	125	150	200	250	300	350	400	450	500	550	600	
	H (m)																		
CM 32-160C (*)	2	1,5	2,3	4	24,7	24,4	24,1	23,6	23	21,5	19,6	17,2	14,1						
CM 32-160B (*)	3	2,2	2,9	5,2	29		28,5	28	27,3	25,7	23,8	21,4	18,5	14,8					
CM 32-160A	4	3	4,1	7,1	36,8		36,4	36	35,4	34,2	32,8	31,1	28,8	26	22,3				

ROTÁMETRO SERIES 6000 DE ÁREA VARIABLE

Características:

Rango de medida: 2,5 – 25 m³/h

Agua 20°C

Flotador AISI16L

Conexión rosca BSP-F 2 1/2"

Junta NBR

Sentido vertical ascendente

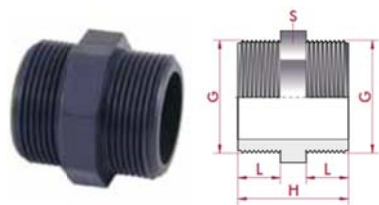


ELEMENTOS DE CONEXIÓN - RACORERÍA

A continuación se detallan, por tramos, los elementos necesarios para unir las diferentes partes de la instalación. Todos son de PVC. Su selección está condicionada por otros elementos como la bomba y el rotámetro y por las especificaciones iniciales de diseño de la instalación.

1) Depósito – Bomba

Salida de depósito y entrada válvula: Machón doble rosca PVC 2"/Tuerca 2":

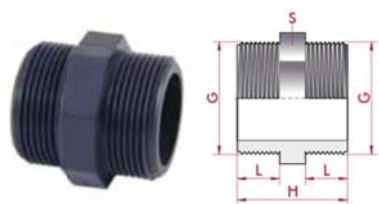


G	CODE	REF.	DN	PN	L	H	S
3/4"	02111	05 18 616	10	10	11	32	20
1/2"	02112	05 18 620	15	10	14	40	27
3/4"	02113	05 18 625	20	10	16	44	32
1"	02114	05 18 632	25	10	19	51	36
1 1/4"	02115	05 18 640	32	10	21	55	46
1 1/2"	02116	05 18 650	40	10	21	56	55
2"	02117	05 18 663	50	10	26	66	65
2 1/2"	02118	05 18 675	65	10	30	75	90



G	CODE	REF.	PN	L	H	E	D	Di
3/4" (3/4")	02187	05 23 625	10	15	20	36	22	24
1" (1")	02188	05 23 632	10	15	20	41	27	30
1 1/4" (1 1/4")	02189	05 23 640	10	16	22	52	36	39
41,5	02190	05 23 641	10	12	18	53	33	39
1 1/2" (1 1/2")	02191	05 23 650	10	20	26	60	41	45
2" (1 1/4")	02192	05 23 663	10	21	26	74	53	57
2 1/4" (1 1/2")	02193	05 23 664	10	22	30	80	59	63
2"	02194	05 23 665	10	19	28	70	46	54
2 1/2"	02195	05 23 675	10	18	27	90	64	72

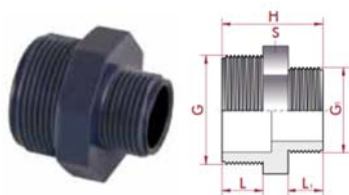
Salida de válvula: machón doble rosca PVC 2":



G	CODE	REF.	DN	PN	L	H	S
3/4"	02111	05 18 616	10	10	11	32	20
1/2"	02112	05 18 620	15	10	14	40	27
3/4"	02113	05 18 625	20	10	16	44	32
1"	02114	05 18 632	25	10	19	51	36
1 1/4"	02115	05 18 640	32	10	21	55	46
1 1/2"	02116	05 18 650	40	10	21	56	55
2"	02117	05 18 663	50	10	26	66	65
2 1/2"	02118	05 18 675	65	10	30	75	90

2) Bomba – Rotámetro

Reducción roscada macho x macho BSP 1 1/4" x 1 1/2" :



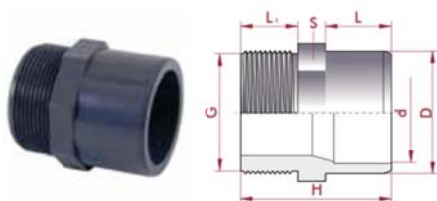
G x G ₁	CODE	REF.	DN	PN	L	L ₁	H	S
1/2" x 3/4"	02303	05 33 620	10	10	15	11	36	24
3/4" x 1/2"	02304	05 33 625	15	10	16	15	43	32
3/4" x 3/4"	02305	05 33 626	10	10	16	11	39	32
1" x 3/4"	02306	05 33 632	20	10	19	16	48	40
1" x 1/2"	02307	05 33 633	15	10	19	15	47	40
1" x 3/4"	02308	05 33 634	10	10	19	11	43	40
1 1/4" x 1"	02309	05 33 640	25	10	21	19	53	50
1 1/4" x 3/4"	02310	05 33 641	20	10	21	16	50	50
1 1/2" x 1/2"	02311	05 33 642	15	10	21	15	49	50
1 1/2" x 1 1/4"	02312	05 33 650	32	10	21	21	56	55
1 1/2" x 1"	02313	05 33 651	25	10	21	19	54	55

Adaptación de tubería: adaptador mixto encolar hembra/rosca hembra BSP 63 – 50 x 1 1/2" :



D - d x G	CODE	REF.	DN	PN	L	L ₁	L ₂	H	S
50 - 40 x 1 1/2"	02257	05 31 451	40	10	25	31	26	65	55
50 - 40 x 1 1/4"	02258	05 31 452	32	10	25	31	26	65	55
63 - 50 x 2 1/2"	02259	05 31 463	50	10	34	38	31	81	78
63 - 50 x 2"	02260	05 31 464	50	10	29	38	31	76	65
63 - 50 x 1 1/2"	02261	05 31 465	40	10	25	38	31	72	65
75 - 63 x 3"	02262	05 31 475	50	10	37	44	38	96	108
75 - 63 x 2 1/2"	02263	05 31 476	65	10	34	44	38	87	78

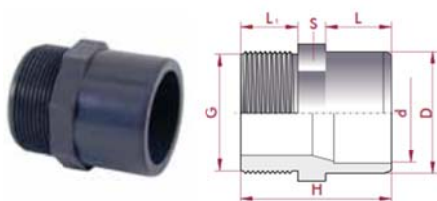
Entrada a rotámetro: machón mixto encolar hembra/rosca macho BSP 75-63 x 2 1/2" :



D - d x G	CODE	REF.	DN	PN	L	L ₁	H	S
50 - 40 x 1 1/2"	02085	05 15 450	40	10	31	25	70	55
50 - 40 x 1 1/4"	02086	05 15 451	32	10	31	21	66	55
50 - 40 x 1"	02087	05 15 452	25	10	31	19	64	55
63 - 50 x 2"	02088	05 15 463	50	10	38	25	78	65
63 - 50 x 1 1/2"	02089	05 15 464	40	10	38	21	73	65
63 - 50 x 1 1/4"	02090	05 15 465	32	10	38	21	73	65
75 - 63 x 2 1/2"	02091	05 15 475	65	10	44	30	89	78
75 - 63 x 2"	02092	05 15 476	50	10	44	25	84	78
75 - 63 x 1 1/2"	02093	05 15 477	40	10	44	21	80	78
90 - 75 x 3"	02094	05 15 490	80	10	51	33	99	93
90 - 75 x 2 1/2"	02095	05 15 491	65	10	51	30	96	93

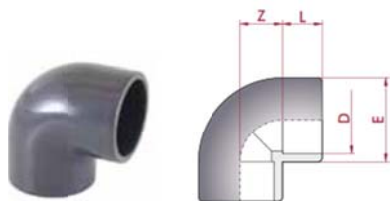
3) Rotámetro - Canal

Salida rotámetro: machón mixto encolar hembra/rosca macho BSP 75-63 x 2 1/2" :



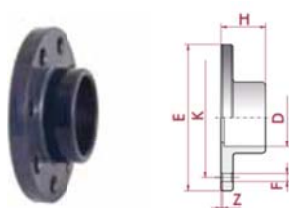
D - d x G	CODE	REF.	DN	PN	L	L ₁	H	S
50 - 40 x 1 1/2"	02085	05 15 450	40	10	31	25	70	55
50 - 40 x 1 1/4"	02086	05 15 451	32	10	31	21	66	55
50 - 40 x 1"	02087	05 15 452	25	10	31	19	64	55
63 - 50 x 2"	02088	05 15 463	50	10	38	25	78	65
63 - 50 x 1 1/2"	02089	05 15 464	40	10	38	21	73	65
63 - 50 x 1 1/4"	02090	05 15 465	32	10	38	21	73	65
75 - 63 x 2 1/2"	02091	05 15 475	65	10	44	30	89	78
75 - 63 x 2"	02092	05 15 476	50	10	44	25	84	78
75 - 63 x 1 1/2"	02093	05 15 477	40	10	44	21	80	78
90 - 75 x 3"	02094	05 15 490	80	10	51	33	99	93
90 - 75 x 2 1/2"	02095	05 15 491	65	10	51	30	96	93

Cambio de dirección: codo 90°, PVC Ø63 encolar hembra:



D	CODE	REF.	DN	PN	L	Z	E
16	01655	05 01 016 ^{1,2,3}	10	16	14	10	25
20	01712	05 01 020 ^{1,2,3}	15	16	16	11	27
25	01713	05 01 025 ^{1,2,3}	20	16	19	14	33
32	01714	05 01 032 ^{1,2,3}	25	16	22	17	41
40	01715	05 01 040 ^{1,2,3}	32	16	26	21	50
50	01716	05 01 050 ^{1,2,3}	40	16	31	26	61
63	01717	05 01 063 ^{1,2,3}	50	16	38	33	76
75	01718	05 01 075 ^{1,2,3}	65	16	44	39	90
90	01719	05 01 090 ^{1,2,3}	80	16	51	46	108

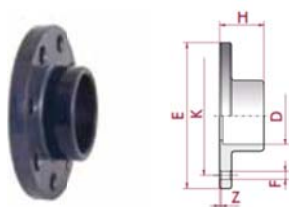
Entrada al canal: brida con manguito PVC-U Ø63 encolar hembra:



D	CODE	REF.	DN	PN	H	Z	E	K	F
20	22575	05 25 020	15	16	20	4	95	65	14 x 4
25	22576	05 25 025	20	16	23	4	105	75	14 x 4
32	22577	05 25 032	25	16	26	4	115	85	14 x 4
40	22578	05 25 040	32	16	30	4	142	100	18 x 4
50	22579	05 25 050	40	16	35	4	152	110	18 x 4
63	22580	05 25 063	50	16	42	4	165	125	18 x 4
75	02226	05 25 075	65	16	47	3	185	145	18 x 4
90	02227	05 25 090	80	16	56	5	200	160	18 x 8
110	02228	05 25 110	100	16	66	5	220	180	18 x 8
125	02229	05 25 125	110	16	74	5	230	190	18 x 8

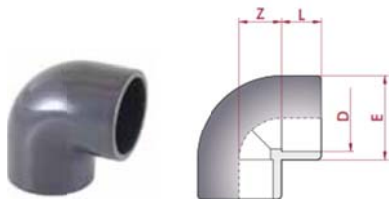
4) Canal – Depósito

Salida del canal: Ø63 brida con manguito PVC-U Ø63 encolar hembra:



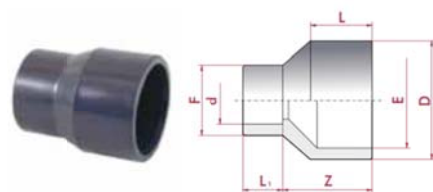
D	CODE	REF.	DN	PN	H	Z	E	K	F
20	22575	05 25 020	15	16	20	4	95	65	14 x 4
25	22576	05 25 025	20	16	23	4	105	75	14 x 4
32	22577	05 25 032	25	16	26	4	115	85	14 x 4
40	22578	05 25 040	32	16	30	4	142	100	18 x 4
50	22579	05 25 050	40	16	35	4	152	110	18 x 4
63	22580	05 25 063	50	16	42	4	165	125	18 x 4
75	02226	05 25 075	65	16	47	3	185	145	18 x 4
90	02227	05 25 090	80	16	56	5	200	160	18 x 8
110	02228	05 25 110	100	16	66	5	220	180	18 x 8
125	02229	05 25 125	110	16	74	5	230	190	18 x 8

2 cambios de dirección: codo 90°, PVC Ø63 encolar hembra:



D	CODE	REF.	DN	PN	L	Z	E
16	11655	05 01 016 ^{2,3}	10	16	14	10	25
20	01712	05 01 020 ^{1,2,3}	15	16	16	11	27
25	01713	05 01 025 ^{1,2,3}	20	16	19	14	33
32	01714	05 01 032 ^{2,3}	25	16	22	17	41
40	01715	05 01 040 ^{2,3}	32	16	26	21	50
50	01716	05 01 050 ^{1,2,3}	40	16	31	26	61
63	01717	05 01 063 ^{2,3}	50	16	38	33	76
75	01718	05 01 075 ^{2,3}	65	16	44	39	90
90	01719	05 01 090 ^{2,3}	80	16	51	46	108

Cambio de sección 63 a 50 mm: reducción cónica encolar 75-63 x 50



D-E x d	CODE	REF.	DN	PN	L	L ₁	Z	F
63-50 x 25	01986	05 09 066 ²	20	16	38	19	54	33
63-50 x 20	01987	05 09 067 ²	15	16	38	16	54	27
63-50 x 63	01988	05 09 075 ²	50	16	44	38	62	73
75-63 x 50	01989	05 09 076 ²	40	16	44	31	62	61
75-63 x 40	01990	05 09 077 ²	32	16	44	26	62	50

Adaptación a machón de entrada a depósito: adaptador mixto encolar hembra/rosca hembra BSP 63-50x2":



D - d x G	CODE	REF.	DN	PN	L	L ₁	L ₂	H	S
50 - 40 x 1 1/2"	02257	05 31 451	40	10	25	31	26	65	55
50 - 40 x 1 1/4"	02258	05 31 452	32	10	25	31	26	65	55
63 - 50 x 2 1/2"	02259	05 31 463	50	10	34	38	31	81	78
63 - 50 x 2"	02260	05 31 464	50	10	29	38	31	76	65
63 - 50 x 1 1/2"	02261	05 31 465	40	10	25	38	31	72	65
75 - 63 x 3"	02262	05 31 475	50	10	37	44	38	96	108
75 - 63 x 2 1/2"	02263	05 31 476	65	10	34	44	38	87	78

Entrada a depósito: machón doble rosca PVC 2"/Tuerca 2":



G	CODE	REF.	DN	PN	L	H	S
3/4"	02111	05 18 616	10	10	11	32	20
1/2"	02112	05 18 620	15	10	14	40	27
3/4"	02113	05 18 625	20	10	16	44	32
1"	02114	05 18 632	25	10	19	51	36
1 1/4"	02115	05 18 640	32	10	21	55	46
1 1/2"	02116	05 18 650	40	10	21	56	55
2"	02117	05 18 663	50	10	26	66	65
2 1/2"	02118	05 18 675	65	10	30	75	90

G	CODE	REF.	PN	L	H	E	D	DI
3/4" (3/4")	02187	05 23 625	10	15	20	36	22	24
1" (1")	02188	05 23 632	10	15	20	41	27	30
1 1/4" (1 1/4")	02189	05 23 640	10	16	22	52	36	39
41.5	02190	05 23 641	10	12	18	53	33	39
1 1/2" (1 1/2")	02191	05 23 650	10	20	26	60	41	45
2" (2")	02192	05 23 663	10	21	26	74	53	57
2 1/4" (2 1/4")	02193	05 23 664	10	22	30	80	59	63
2"	02194	05 23 665	10	19	28	70	46	54
2 1/2"	02195	05 23 675	10	18	27	90	64	72
2 3/4" (2 3/4")	02196	05 23 676	10	28	36	99	74	78

5) Desagüe del depósito

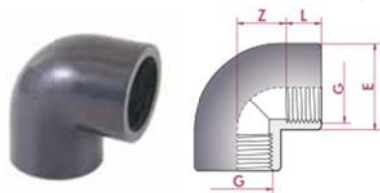
Salida de desagüe: machón doble rosca PVC 1 1/2" – tuerca 1 1/2":



G	CODE	REF.	DN	PN	L	H	S
3/4"	02111	05 18 616	10	10	11	32	20
1/2"	02112	05 18 620	15	10	14	40	27
3/4"	02113	05 18 625	20	10	16	44	32
1"	02114	05 18 632	25	10	19	51	36
1 1/4"	02115	05 18 640	32	10	21	55	46
1 1/2"	02116	05 18 650	40	10	21	56	55
2"	02117	05 18 663	50	10	26	66	65
2 1/2"	02118	05 18 675	65	10	30	75	90

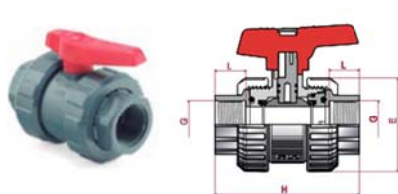
G	CODE	REF.	PN	L	H	E	D	DI
3/4" (3/4")	02187	05 23 625	10	15	20	36	22	24
1" (1")	02188	05 23 632	10	15	20	41	27	30
1 1/4" (1 1/4")	02189	05 23 640	10	16	22	52	36	39
41.5	02190	05 23 641	10	12	18	53	33	39
1 1/2" (1 1/2")	02191	05 23 650	10	20	26	60	41	45
2" (2")	02192	05 23 663	10	21	26	74	53	57
2 1/4" (2 1/4")	02193	05 23 664	10	22	30	80	59	63
2"	02194	05 23 665	10	19	28	70	46	54

Cambio de dirección: codo 90°, PVC, rosca hembra BSP 1 1/2"



G	CODE	REF.	DN	PN	L	Z	E
3/4"	01734	05 01 620	15	10	14	11	28
3/4"	01735	05 01 625	20	10	16	14	34
1"	01736	05 01 632	25	10	19	17	43
1 1/4"	01737	05 01 640	32	10	20	21	54
1 1/2"	01738	05 01 650	40	10	20	26	63
2"	01739	05 01 663	50	10	24	33	78
2 1/2"	22587	05 01 675	65	10	30	54	89

Válvula de paso: válvula de bola PVC rosca hembra 1 1/2"



G	DN	PN	REF.	CODE	L	H	E
3/4"	15	16	60 60 616	36510	13	87	50
1/2"	15	16	60 60 620	36511	16	87	50
3/4"	20	16	60 60 625	36512	19	101	61
1"	25	16	60 60 632	36513	22	122	70
1 1/4"	32	16	60 60 640	36514	26	135	81
1 1/2"	40	16	60 60 650	36515	31	149	96
2"	50	16	60 60 663	36516	38	174	118
2 1/2"	65	10	60 60 675	36517	44	216	146

3.2. Adaptadores

Los adaptadores tienen como objetivo conectar dos secciones de paso muy diferentes:

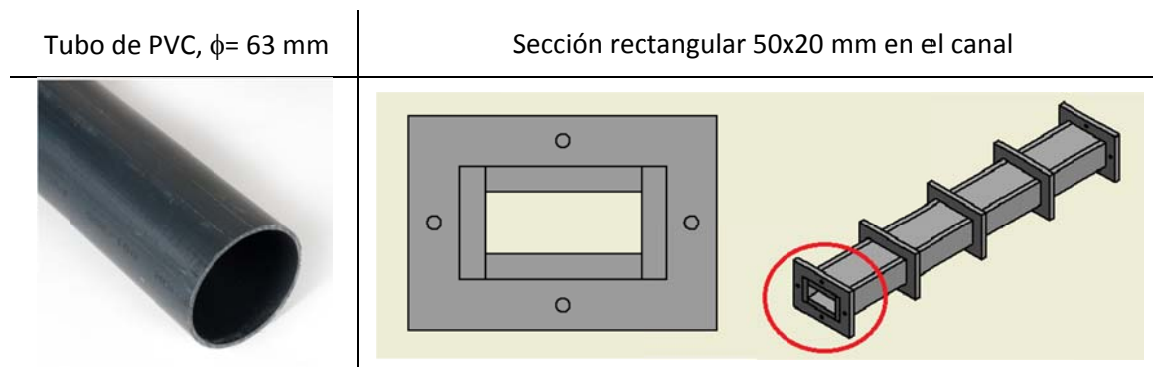


Figura 16. Secciones que conectará el adaptador.

La transición entre ambas secciones debe ser lo suficientemente suave para evitar que se genere turbulencia en el flujo. Se establece un ángulo máximo de 7° para que se cumpla dicha condición. Teniendo en cuenta esto, se ha diseñado una zona de transición con una longitud de 200 mm, consiguiendo así ángulos de $1,86^\circ$ (de 63 a 50mm) y $6,14^\circ$ (de 63 a 20 mm) como se puede observar en la Figura 17.

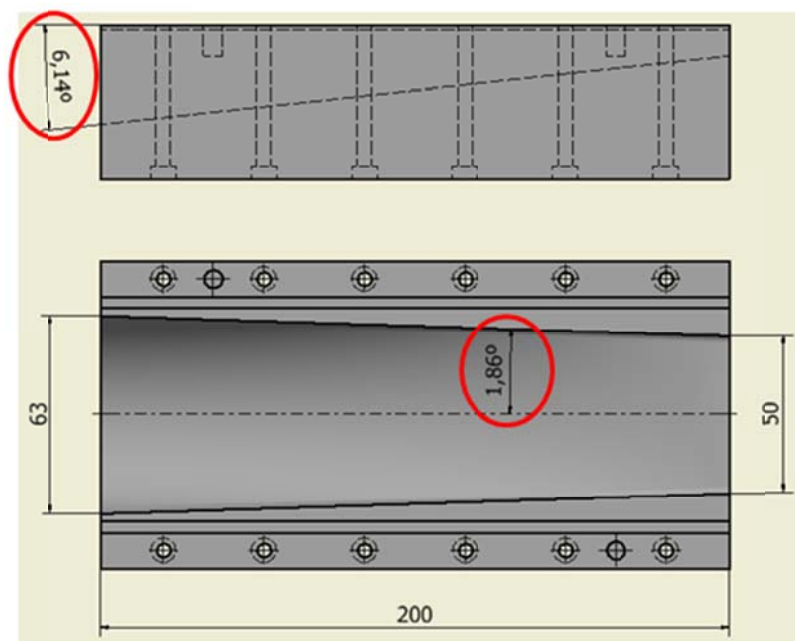


Figura 17. Ángulos de transición entre secciones.

El material empleado es Polioximetileno (POM), que es un termoplástico de alta rigidez. Para llevar a cabo la fabricación de esta pieza, se dividió en dos partes, y en el interior de cada una de ellas se mecanizó la región de adaptación correspondiente. La unión de las dos partes se hace mediante atornillado.

En una de las piezas se han previsto alojamientos para la cabeza de los tornillos. En la otra mitad se han mecanizado agujeros roscados (Figura 18). Además, para ubicar correctamente las dos mitades, se han utilizado 2 pasadores y para mantener la estanqueidad se prevé la colocación de una junta.

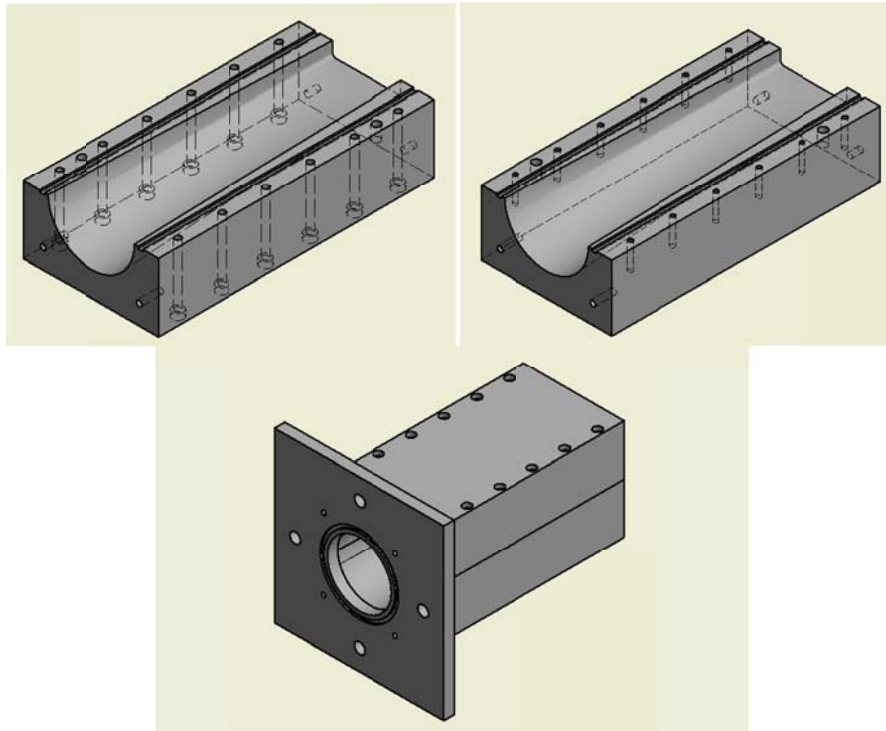


Figura 18. Partes que forman el adaptador y conjunto montado.

En las caras frontales se realizan 4 agujeros (Figura 19) para alojar los tornillos que unirán el adaptador con una pieza plana auxiliar y con el canal (Figura 20).

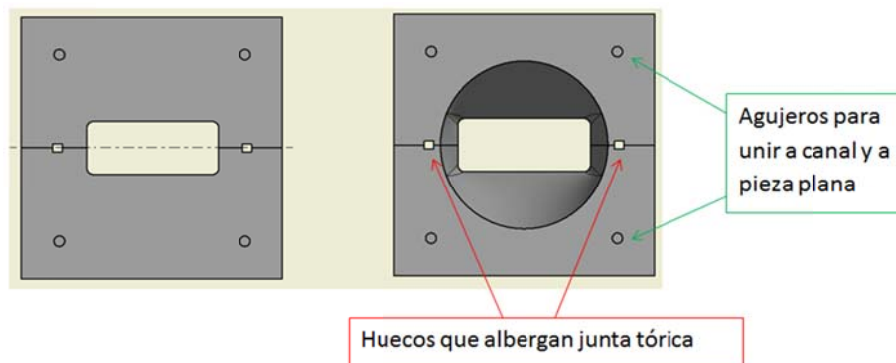


Figura 19. Aojamientos para tornillos en caras frontales y junta tórica

En la cara de sección circular, se acopla por atornillado una pieza, con 8 agujeros pasantes, que permitirá la conexión entre el adaptador y la brida de PVC. Los agujeros pasantes con alojamiento para cabeza avellanada son para los tornillos que unen el resto del adaptador con esta pieza auxiliar. Los pasantes cilíndricos son para la unión con la brida de PVC (Figura 20). En el extremo contrario, donde se unen adaptador y canal, la unión se produce por atornillado directo de la brida rectangular de metacrilato al adaptador.

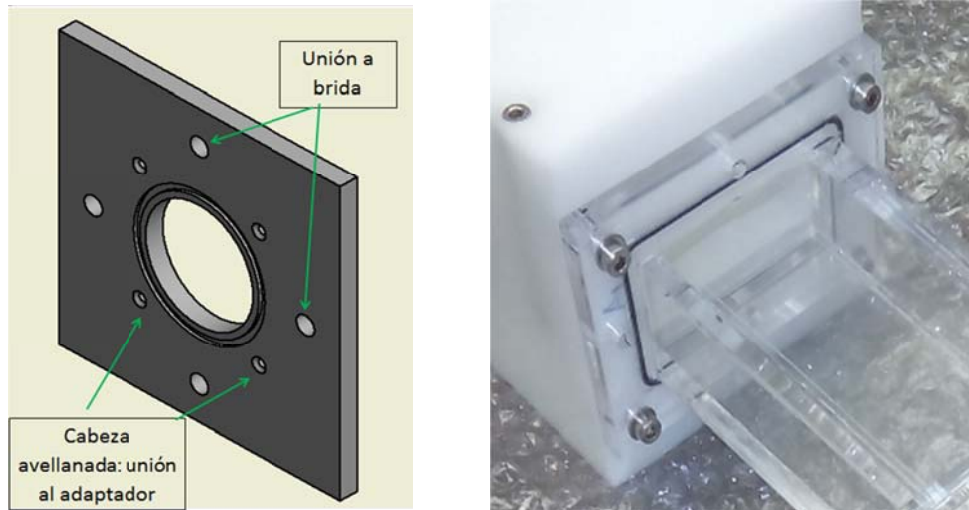


Figura 20. Uniones en adaptadores con tornillos de caras frontales.

3.3. Zona de ensayos

El flujo debe llegar acondicionado y desarrollado a la zona del obstáculo del experimento, para evitar turbulencia u otros efectos que pudieran alterar el transcurso normal de la creación de la cavitación. De la siguiente ecuación se extrae la longitud de canal mínima para que el flujo llegue completamente desarrollado al obstáculo (Bergadá, 2012):

$$L/D_H = 4,4 \text{ Re}_{DH}^{1/6}$$

donde

$$D_H = 4 S_{CANAL} / P_{CANAL}$$

$$\text{Re}_{DH} = v D_H / \nu$$

siendo

ν , viscosidad cinemática del fluido: $\nu_{\text{agua}} = 1,1 \times 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$,

D_H , diámetro hidráulico de la sección (50 x 10) mm²,

v , velocidad del fluido en el canal $v = Q/S$, con S la sección de paso 50x10 mm,

Re_{DH} , el número de Reynolds asociado al diámetro hidráulico, D_H ,

$S \text{ (mm}^2\text{)}$	$D_H \text{ (mm)}$	$v \text{ (m/s)}$	Re_{DH}	$L \text{ (m)}$
500	16,667	11,11	168.337	0,545

La longitud mínima para el desarrollo del flujo es de 0,545 m. En este caso se ha construido con una longitud de 726 mm (Figura 21).

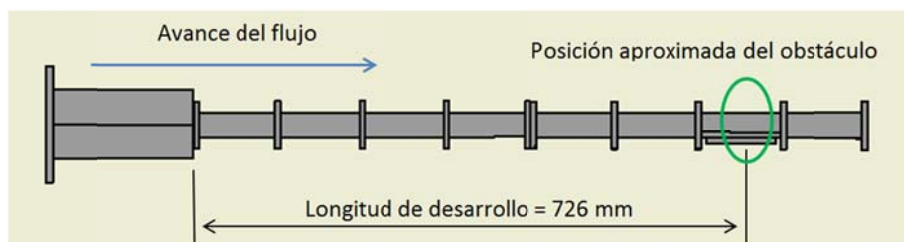


Figura 21. Longitud de desarrollo entre la entrada a canal y obstáculo

La construcción del canal experimental se ha realizado en dos partes de la misma longitud, las cuales se unen por atornillado. En los extremos de cada mitad del canal hay una brida rectangular para realizar las uniones con el adaptador y con la otra parte del canal (Figura 22).

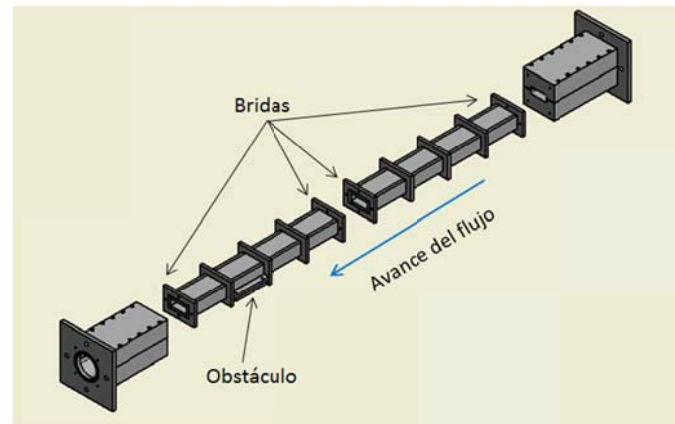


Figura 22. Disposición de los adaptadores y de los dos tramos del canal.

Como se aprecia en la figura anterior, a lo largo del canal se han incluido una serie de cuadernas que aportan rigidez y resistencia al canal. Estas cuadernas son idénticas a las bridas, pero sin agujeros pasantes para el atornillado.

Una de las especificaciones iniciales es que las paredes deben ser transparentes para una correcta medición con láser. Por esta razón se ha escogido el metacrilato (polimetilmetacrilato, PMMA) como material de construcción del canal. En el Anexo II se incluye un listado de las propiedades de este material, así como los resultados de cálculo mecánico frente a las cargas previstas debidas a las presiones internas.

El obstáculo que va a originar la cavitación en el canal experimental se podrá sustituir por otro de forma sencilla. Esto le confiere una gran flexibilidad a la instalación. Hay una tapa en la parte inferior del canal a la que se atornillarán los obstáculos. Dicha tapa se une al canal por medio de dos solapas. Desatornillando y extrayendo la tapa se puede quitar un obstáculo y poner otro mediante dos tornillos, sin dificultades de acceso de herramientas. En la Figura 23 se observan la tapa, las solapas y el hueco que albergará el obstáculo intercambiable.

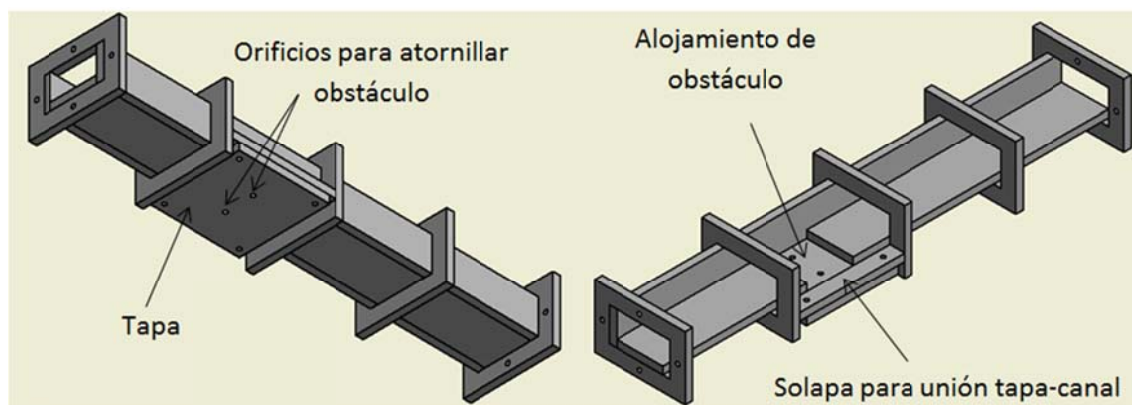


Figura 23: Detalle de la zona del obstáculo.



Figura 24. Canal construido y montado en la instalación.

4. Instalación experimental. Elementos estructurales y montaje

4.1. Estructura soporte

Todos los componentes de la línea hidráulica van a ser montados sobre una estructura con las dimensiones y resistencia adecuadas para disponer todos los elementos de la instalación y soportar las cargas generadas.

La estructura está formada por perfiles de acero de 40x40x2 mm. La base es la parte que más peso va a tener que soportar, pues sobre ella apoyan directamente el depósito de agua y la bomba. Para darle suficiente rigidez y resistencia, se ha diseñado con varios travesaños transversales intermedios. Como se observa en la Figura 25, en uno de los laterales se ha dejado un hueco mayor entre los perfiles verticales para darle salida al motor de la bomba.

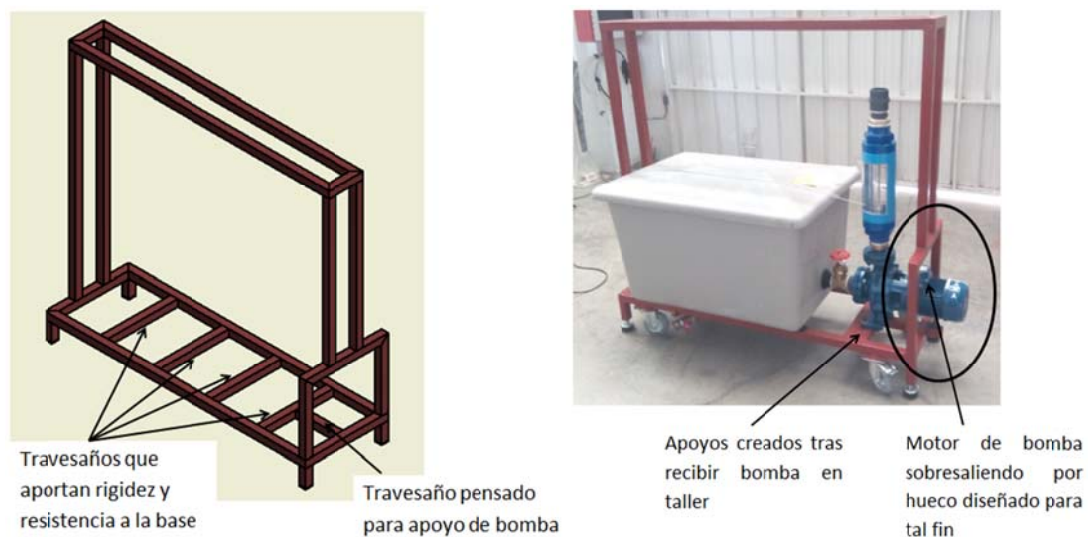


Figura 25. Estructura soporte

Puesto que el canal es la zona donde se va a realizar el estudio de los fenómenos y la toma de medidas, éste ha de situarse a una altura adecuada. Se ha considerado una altura de 1425 mm.

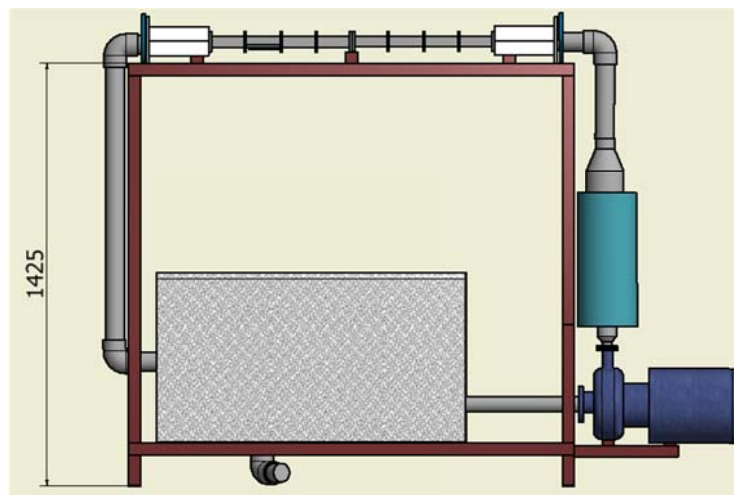


Figura 26. Alzado de la instalación con cota de altura.

Las dimensiones finales de la estructura se pueden consultar en el documento de Planos. Se ha realizado el cálculo mecánico frente a condiciones de carga máxima (con depósito lleno) obteniéndose los diagramas de esfuerzos que se muestran en el Anexo II. Se comprueba que el coeficiente de seguridad mínimo es de 3,13.

Como se observa en la Figura 25, la estructura se apoya en el suelo a través de unas patas de goma que reducen la transmisión de ruidos y vibraciones y además, cuenta con unas ruedas que pueden ser utilizadas para el traslado del conjunto de forma más cómoda.

4.2. Elementos complementarios

Durante el montaje se han utilizado otros elementos que se describen a continuación:

1) Soportes del canal experimental

Para apoyar el canal de ensayos, se han añadido tres travesaños en la parte superior de la estructura. Sobre ellos se apoyan la parte central del canal (bridas de unión entre las dos piezas del canal) y los extremos (bridas de unión a los adaptadores).

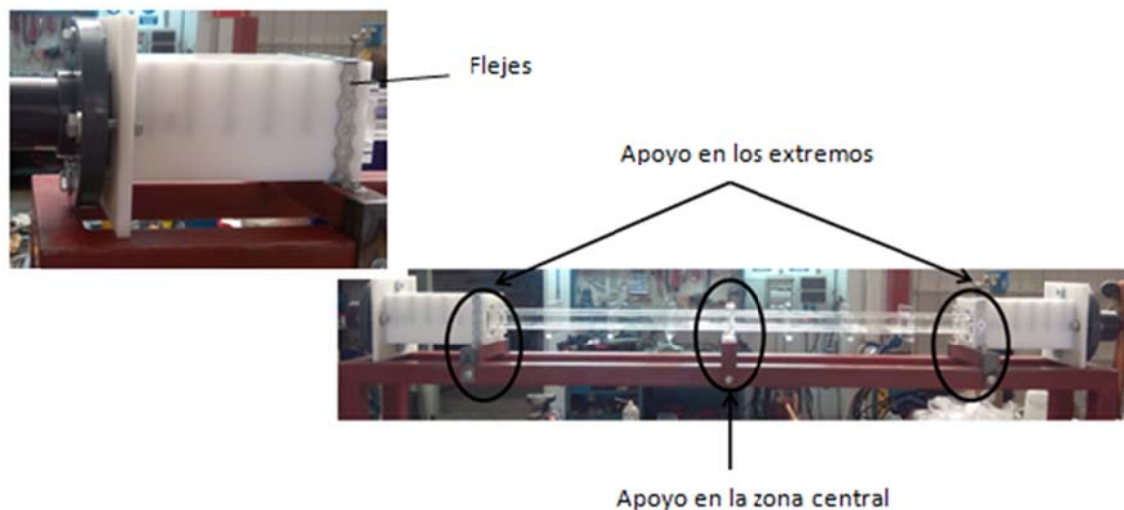


Figura 27. Detalle de los apoyos de la zona de ensayos.

2) Flejes de sujeción

Se ha optado por fijar los adaptadores a la estructura soporte por medio de una correa metálica que se atornilla a la estructura. De esta forma se evitan los desplazamientos laterales de la zona de ensayos.

3) Abrazaderas de tubería

El tramo de tubería por el que desciende el flujo desde el canal al depósito termina en un codo a unos 25 centímetros de altura. Es necesario un apoyo en esta parte de la línea a través de una abrazadera que va atornillada a la estructura (Figura 28).



Figura 28. Apoyos de tubería y desagües

4) Soportes para desagüe

Para hacer el vaciado de líquido del depósito se ha provisto de una válvula de mariposa en la parte inferior. La sujeción se hace a través de dos puntos de apoyo a la base de la estructura, por medio de dos abrazaderas que van atornilladas a una pletina que se ha soldado a la estructura. La salida de la válvula es una rosca hembra de $1\frac{1}{4}$ " a la cual se le puede acoplar una manguera para que el proceso de vaciado del depósito sea más cómodo.

4.3. Montaje y método de operación

Fases de montaje	
<p>Fase 1)</p> <p>En la estructura soporte se montan las ruedas y patas de apoyo. A continuación, el depósito y la bomba se montan en la parte inferior de la estructura, y el rotámetro en la línea de impulsión. Para ello se utilizaron los elementos de conexión y racorería que se describen en el apartado 3.1 en los tramos designados depósito-bomba y bomba-rotámetro.</p>	
<p>Fase 2)</p> <p>En la siguiente fase se hace el montaje de la zona de ensayos que va apoyada en la parte superior de la estructura. El canal se coloca centrado y en los extremos los adaptadores de flujo.</p>	

Fase 3)

En la última fase se hace el montaje de los tramos de tubería ascendente y descendente.

Se instalan los codos de cambio de dirección, las bridas de acoplamiento y los elementos de conexión necesarios descritos previamente.



Instalación finalizada



El método de operación previsto para el desarrollo de experimentos incluye el llenado de depósito, la puesta en marcha de la bomba y la regulación del flujo.

El depósito es alimentado a través de una manguera procedente de la red de abastecimiento del laboratorio-taller. Será necesario llenarlo la primera vez que se ensaye y cuando se vacíe (total o parcialmente) a través del desagüe que dispone en su parte inferior.

En el tramo de aspiración la válvula puede regular parcialmente el caudal de la instalación o impedir que el líquido abandone el depósito si está completamente cerrada. Cuando el ensayo esté en funcionamiento, el grado de apertura de la válvula será el máximo y no se modificará. El caudal se regulará mediante un variador de frecuencia que se conectará a la bomba, consiguiendo así una regulación más eficiente. El caudal puede ser medido en cada momento mediante el rotámetro.

Abrir al máximo la válvula de compuerta, y poner en marcha la bomba. Mediante el variador de frecuencia, regular la velocidad de giro de la bomba para modificar el caudal. El caudal máximo que medirá el rotámetro son $25 \text{ m}^3/\text{h}$.

La zona de ensayos queda definida por la geometría de un obstáculo. En próximos trabajos se abordará el diseño de un conjunto de obstáculos que permita tener, a su vez, un conjunto suficientemente amplio de configuraciones de estudio. Se prevé el diseño de diferentes formas y tamaños y realizar pruebas con una secuencia de obstáculos.

Una vez fue instalado el variador de frecuencia, se probó el funcionamiento de la instalación. A continuación se muestran varias fotografías de los efectos sobre un obstáculo.

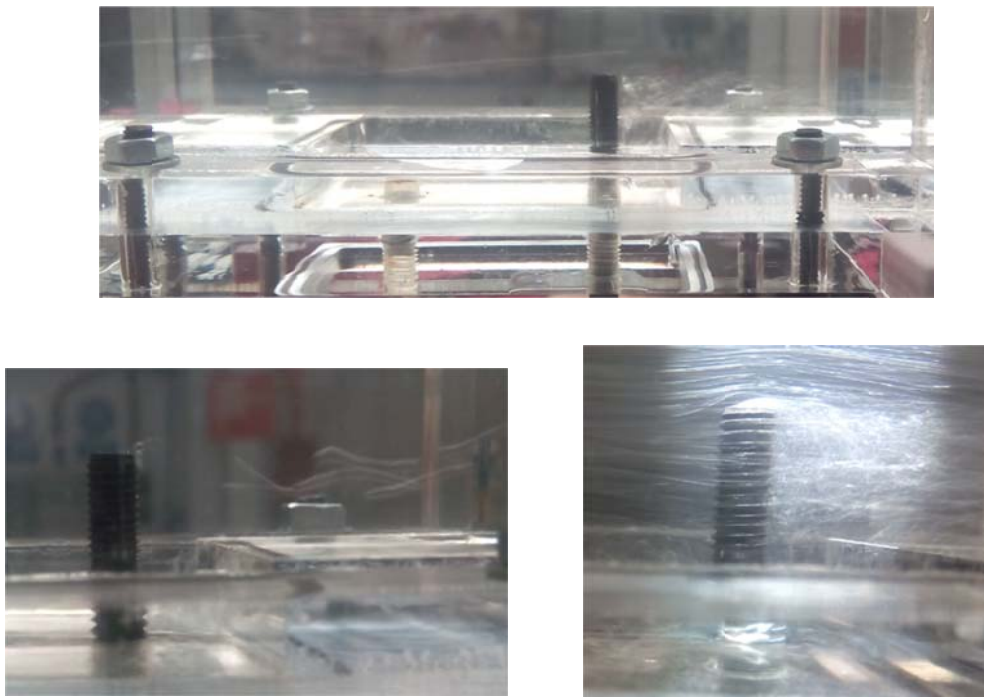


Figura 29. Visualización de primeras pruebas con obstáculo.

5. Conclusiones

En este trabajo se ha recabado información sobre la cavitación hidrodinámica en los fluidos (en particular, en agua) para llevar a cabo el diseño y la construcción de una instalación experimental en la que se van a realizar ensayos de cavitación. Se han explicado los fundamentos del fenómeno de cavitación, fases, tipos, efectos negativos y aplicaciones.

Se estudiaron 3 alternativas posibles de la instalación, con las ventajas e inconvenientes que cada una suponía. Una vez escogida la que se va a realizar, se han diseñado los componentes que forman la instalación experimental. Se han realizado las oportunas mejoras de acuerdo a los estudios que se iban realizando. Una de las piezas más compleja en cuanto a geometría es la zona de adaptación de tubería de sección circular de PVC al canal rectangular.

En esta instalación se va a utilizar el sistema de medida PDA del que dispone el Área de Mecánica de Fluidos, con objeto de medir el tamaño y velocidad de las burbujas que se generarán. Por ello la zona de ensayos es de metacrilato con paredes planas y tiene las dimensiones adecuadas para el acceso óptico.

A la vez que se ha ido realizando el presente trabajo, se ha construido la instalación en el taller del LIFTEC (Laboratorio de Investigación en Fluidodinámica y Tecnologías de la Combustión). En algunas de las reuniones con los directores acudíamos al LIFTEC para comprobar los avances, problemas que surgían en el montaje, modificaciones que los encargados del montaje creían convenientes, etc.

Durante la realización del trabajo me ha parecido muy interesante conocer que la cavitación también puede tener efectos positivos, y puede ser utilizada, por ejemplo, en tratamiento de aguas. Habitualmente sólo se nombran los efectos negativos que conlleva el proceso.

Los planos y cálculos mecánicos se han llevado a cabo mediante la herramienta Autodesk Inventor 2015, con la cual no había trabajado hasta el presente trabajo. Esto me parece un aspecto muy positivo para complementar mi formación académica.

Como trabajo futuro, se prevé el diseño y prueba de diferentes tipos de obstáculos que serán los creadores de la cavitación en el flujo. Se harán medidas en diferentes condiciones de ensayo.

6. Bibliografía

- Abadía Albás, L. (2014). Estudio experimental de la hidrodinámica de flujos cavitantes. Optimización de un equipo de Cavitación Hidrodinámica. Trabajo Fin de Máster. Escuela de Ingeniería y Arquitectura, Universidad de Zaragoza.
- Apuntes de Máquinas e Instalaciones de Fluidos, Escuela de Ingeniería y Arquitectura, Universidad de Zaragoza (2013)
- Arrojo Magallón, S. (2007). Cavitación Hidrodinámica aplicada a tratamiento de efluentes contaminados. Tesis doctoral. Universidad Complutense de Madrid.
- Arroyo, J.; Flores, J. (2001). Degradación ultrasónica de contaminantes orgánicos. Departamento de Físicoquímica, Facultad de Química e Ingeniería Química, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima, Perú
- Bergadá Grañó, J.M. (2012) Mecánica de fluidos. Breve introducción teórica con problemas resueltos. Publicacions Acadèmiques Digitals de la UPC.
- Bueno Juan, J. A. (2012). Eliminación de microorganismos por medio de técnicas avanzadas de cavitación. Proyecto Fin de Carrera. Escuela de Ingeniería y Arquitectura, Universidad de Zaragoza
- Clavel Villagrasa, D. (2014). Caracterización experimental de la onda acústica producida por un piezoeléctrico en el seno de una masa líquida. Trabajo Fin de Grado, Escuela de Ingeniería y Arquitectura, Universidad de Zaragoza
- Dopazo García, César (2008). ¿Cavitar o no cavitar? La inevitable ubicuidad de las burbujas. Discurso de la Sesión Inaugural del Año Académico. Real Academia de la Ingeniería.
- Fueyo Díaz, Norberto (2011) “Apuntes de Mecánica de Fluidos – Flujo unidireccional” Universidad de Zaragoza
- Gogate, P.R.; Kabadi A.M. (2009). A review of applications of cavitation in biochemical engineering/biotechnology. Biochemical Engineering Journal 4, 60-72
- Gogate, P.R.; Pandit, A.B. (2000). Engineering Design Methods for Cavitation Reactors II: Hydrodynamic Cavitation. AIChE Journal 46, Nº 8, pp 1641-1649
- Gómez, L. Cavitación ultrasónica. Efectos secundarios y resultados. Disponible en: <http://www.cavitaciones.com/>
- González-Labrada, K.; Quesada-Peñate, I.; Julcour-Lebigue, C.; Delmas, H.; Cruz González, G.; Jáuregui-Haza, U. J. (2010). El empleo del ultrasonido en el tratamiento de aguas residuales. Revista CENIC. Ciencias Químicas, vol. 41, Centro Nacional de Investigaciones Científicas, La Habana, Cuba

Jyoiti, K.K.; Pandit, A.B. (2000). Water disinfection by acoustic and hydrodynamic cavitation. University Department of Chemical Technology, Chemical Engineering Division, University of Mumbai, Matunga, India

Mataix, C (1993). Mecánica de fluidos y máquinas hidráulicas

Meadows, M.E.; Walski, T.M.; Barnard, T.E.; Durrans, S.R. (2002). Computer Applications in Hydraulic Engineering. Haestad Methods Inc.

Moran, J.M.; Shapiro H.N. (2004). Fundamentos de termodinámica técnica

Tovar Oliva, M.S. (2012). Estudio del fenómeno de erosión por cavitación en materiales metálicos. Tesis de posgrado. Instituto Politécnico Nacional México D.F.

Towerton, G. (2007). Sonificador para producción de biodiesel. Empresa Ultrasonics Hielscher A través de las webs:

http://www.hielscher.com/biodiesel_ultrasonic_mixing_reactors.htm

http://www.hielscher.com/es/biodiesel_transesterification_01.htm

Sistemas de tuberías URALITA. La cavitación en sistemas de tuberías. A través de la web:

http://www.agronoms.cat/media/upload/editora_24/Cavitacion%20espa%C3%B1ol%20editora_241_90.pdf

Trabajo Fin de Grado

Diseño y construcción de una instalación
experimental para ensayos de cavitación
hidrodinámica

- Planos -

Autor

Carlos Martín Vidaller

Directores

José Luis Santolaya Sáenz

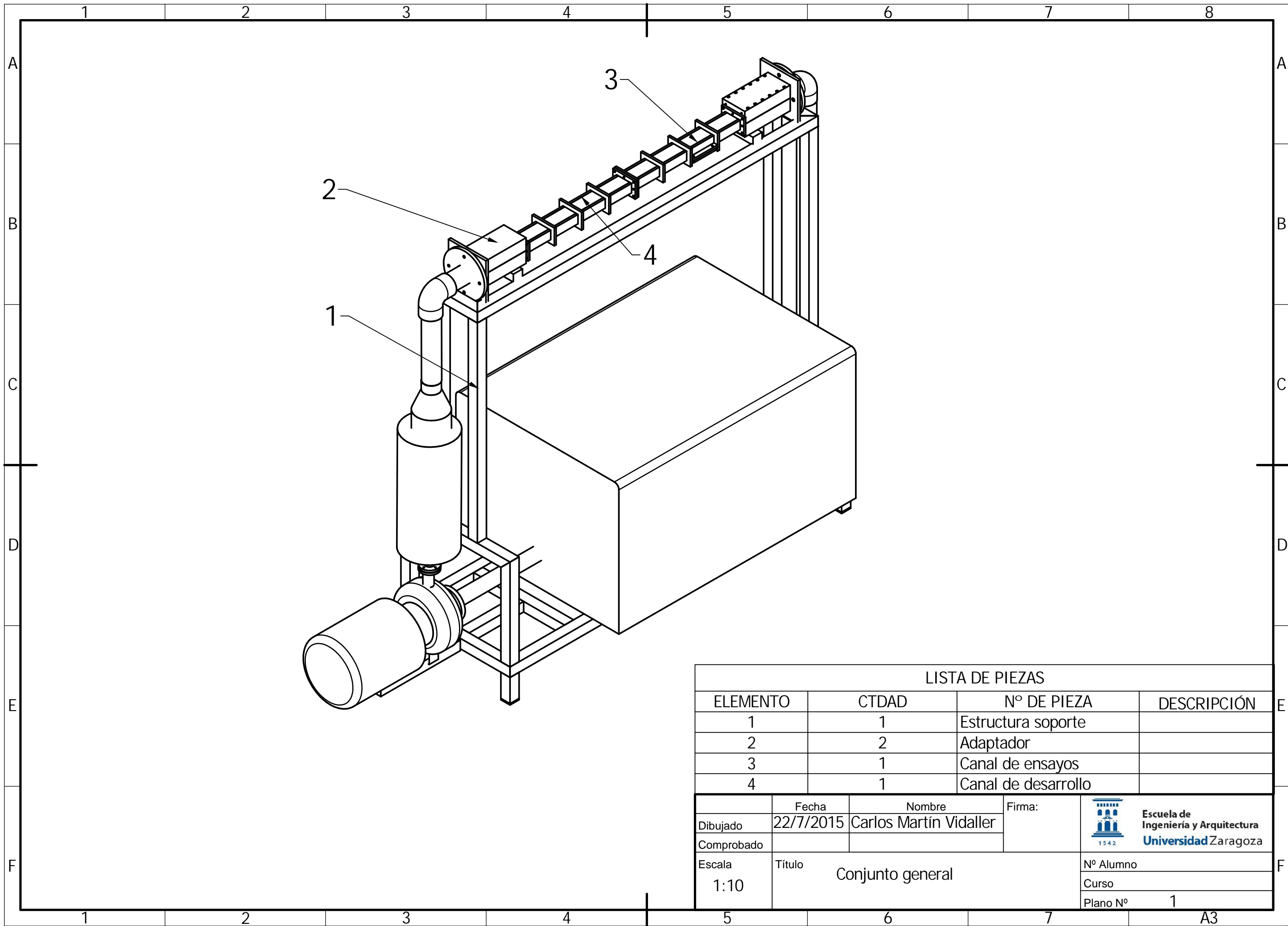
Luis Manuel Cerecedo Figueroa

Universidad de Zaragoza / Escuela de Ingeniería y Arquitectura

Año 2015

Índice

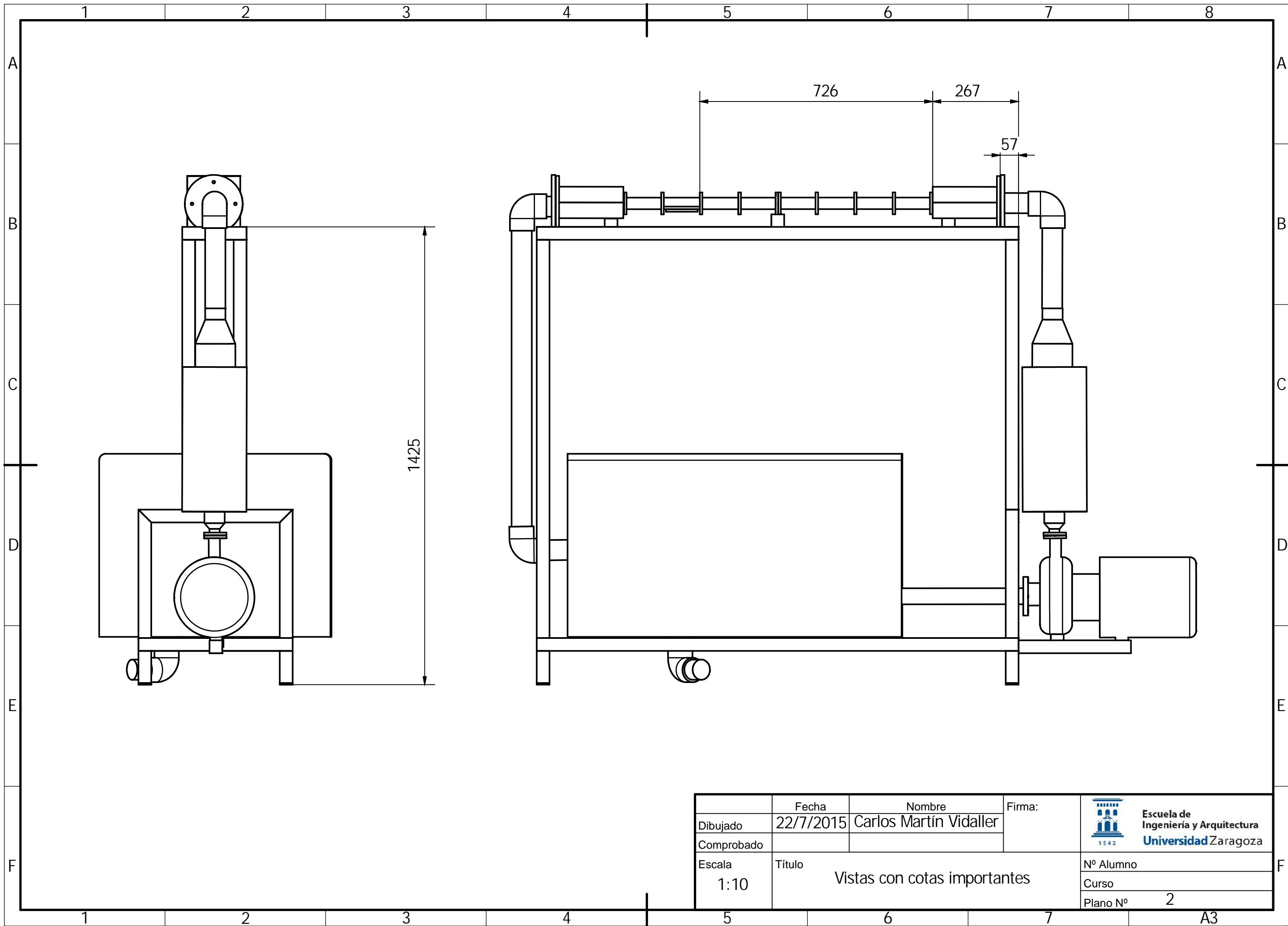
Conjunto general.....	1
Vistas con cotas importantes.....	2
Conjunto 1. Estructura soporte.....	3
Conjunto 2. Adaptador.....	4
Piezas del adaptador.....	5
Conjunto 3. Canal de ensayos.....	6
Piezas del canal de ensayo.....	7
Conjunto 4. Canal de desarrollo.....	8
Piezas del canal de desarrollo.....	9




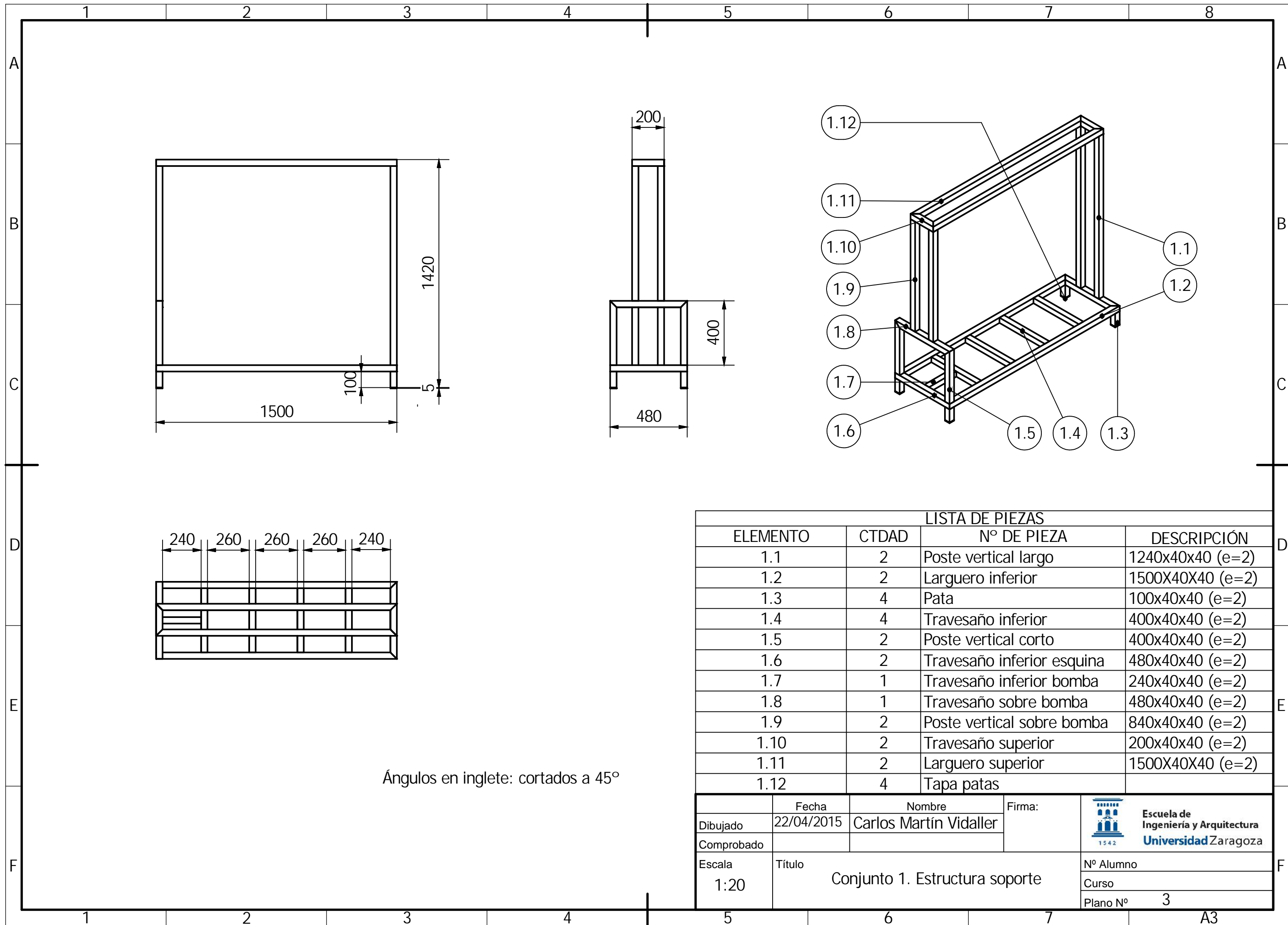
LISTA DE PIEZAS			
ELEMENTO	CTDAD	Nº DE PIEZA	DESCRIPCIÓN
1	1	Estructura soporte	
2	2	Adaptador	
3	1	Canal de ensayos	
4	1	Canal de desarrollo	
		Fecha	Nombre
Dibujado	22/7/2015	Carlos Martín Vidaller	Firma:
Comprobado			
Escala	Título Conjunto general		Nº Alumno
1:10			Curso
			Plano Nº 1

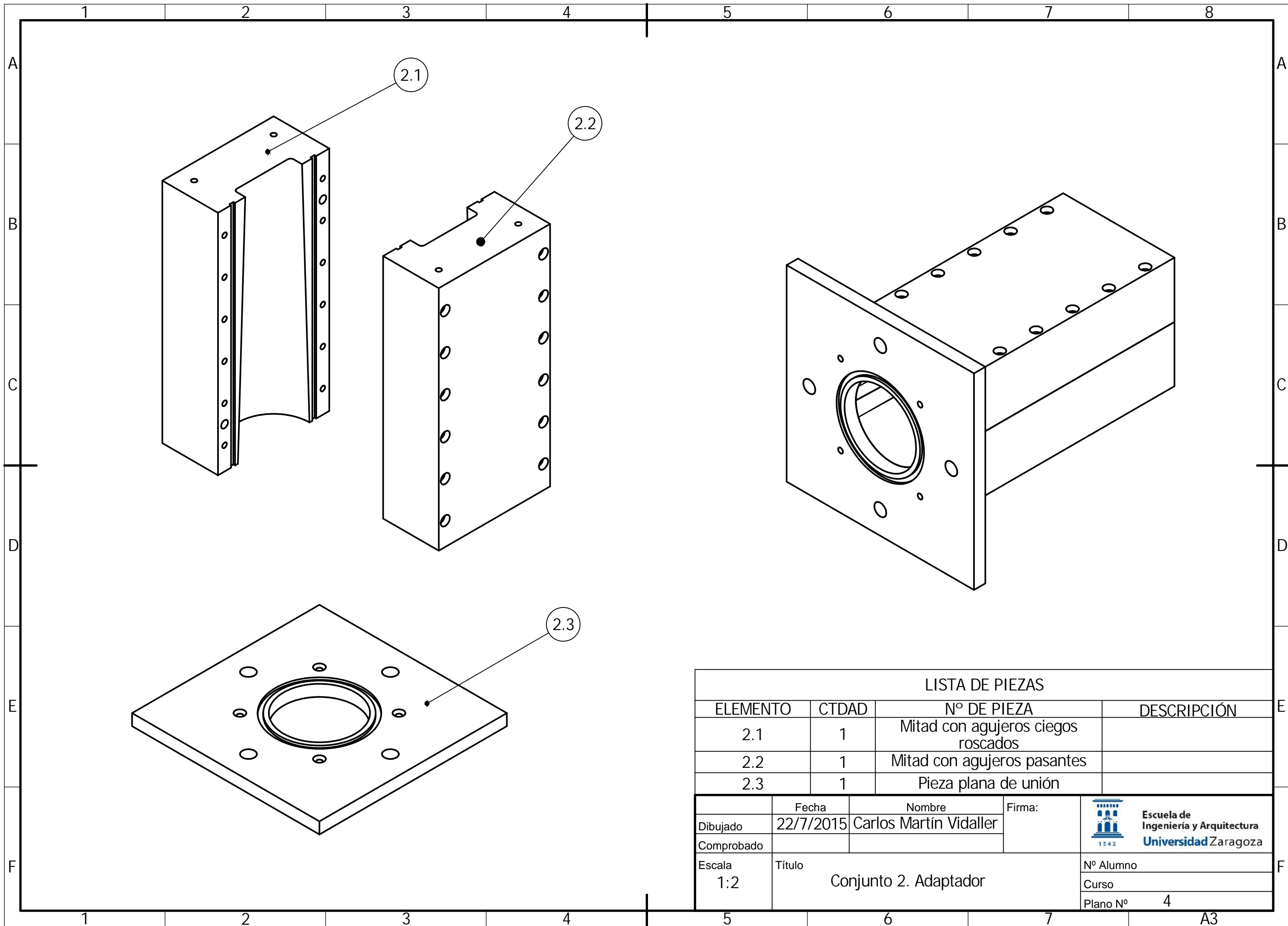


Escuela de
Ingeniería y Arquitectura
Universidad Zaragoza



	Fecha	Nombre	Firma:	 Escuela de Ingeniería y Arquitectura Universidad Zaragoza
Dibujado	22/7/2015	Carlos Martín Vidaller		
Comprobado				
Escala	Título			Nº Alumno
1:10	Vistas con cotas importantes			Curso
				Plano Nº 2

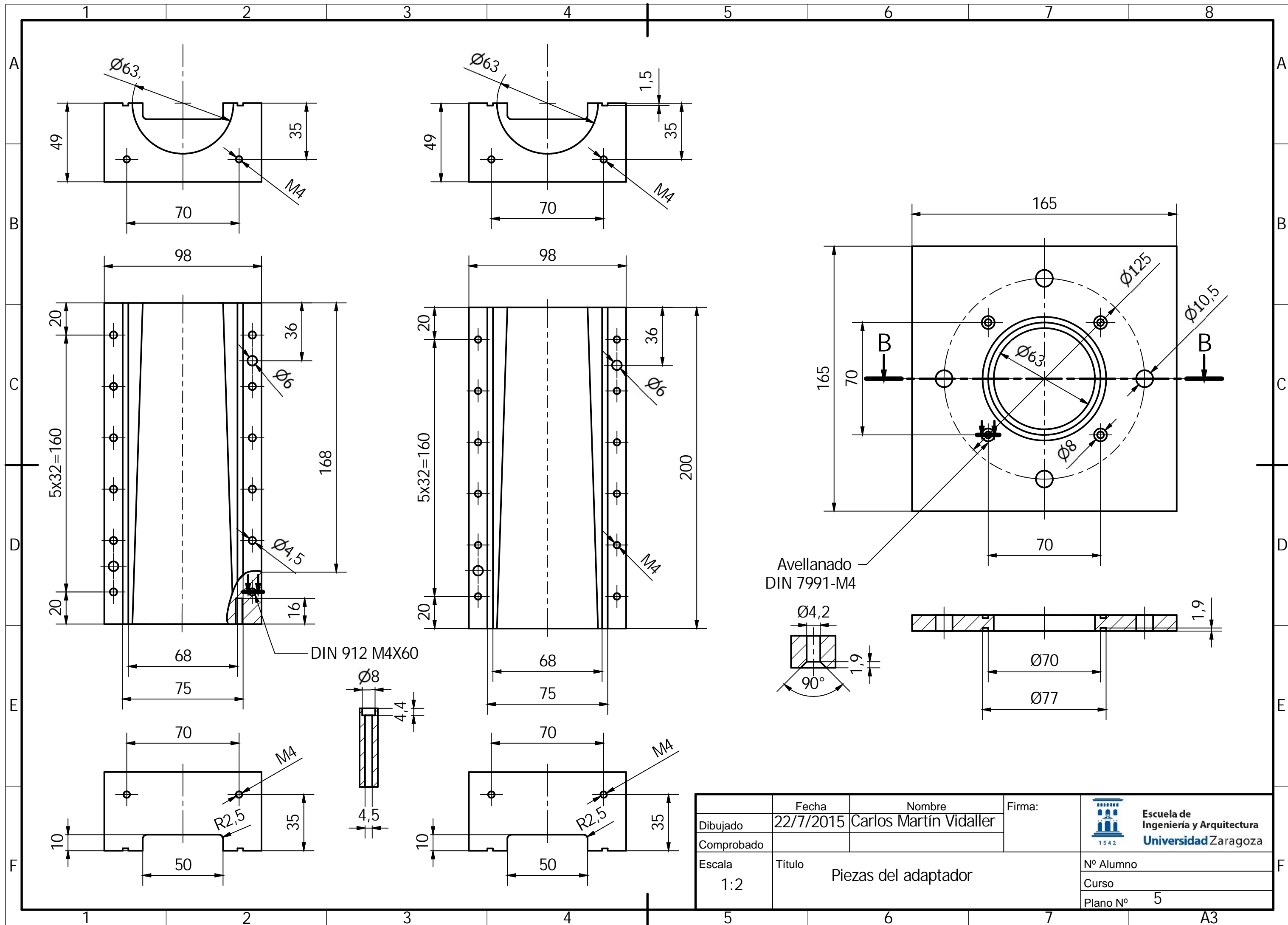


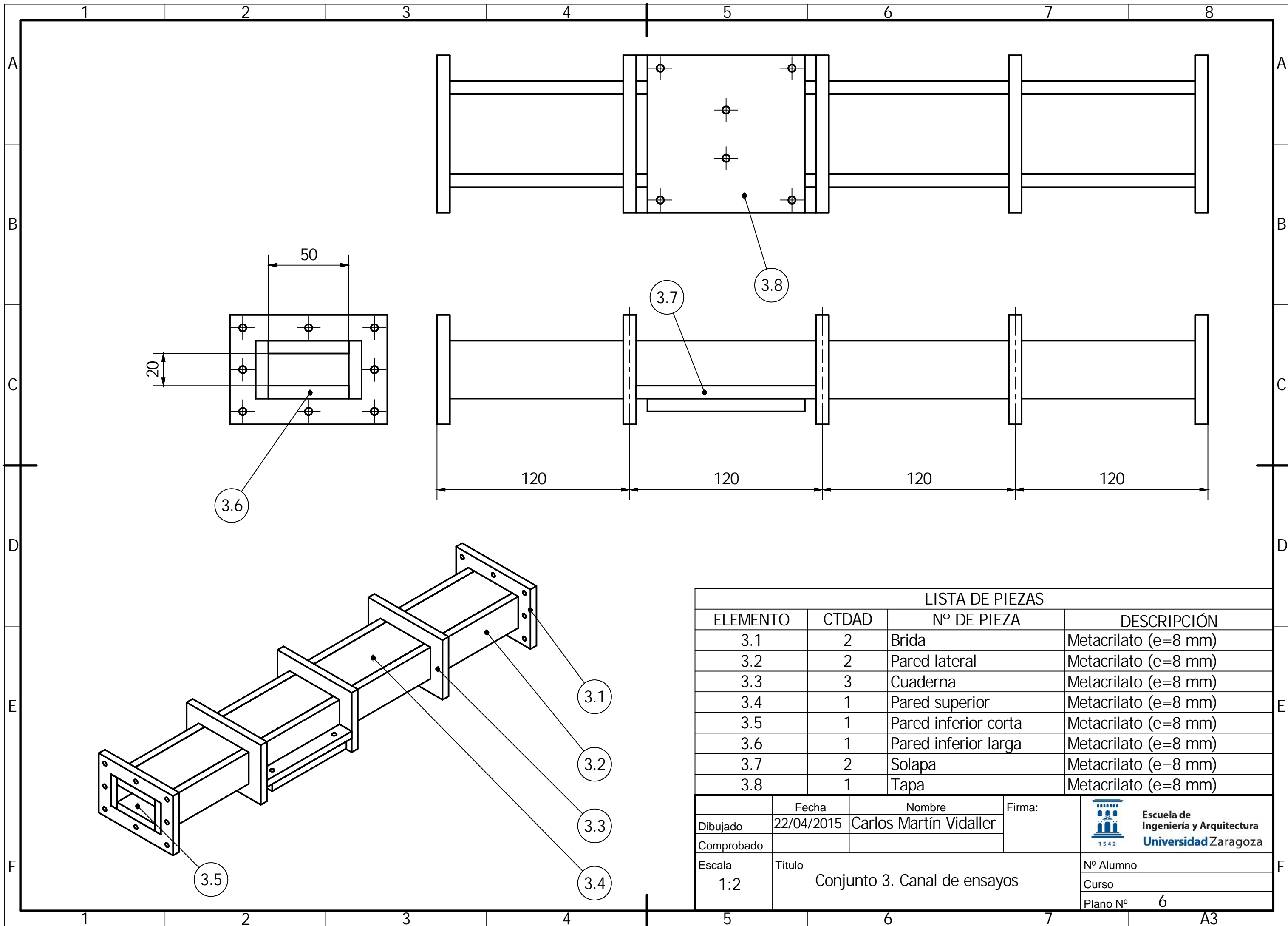


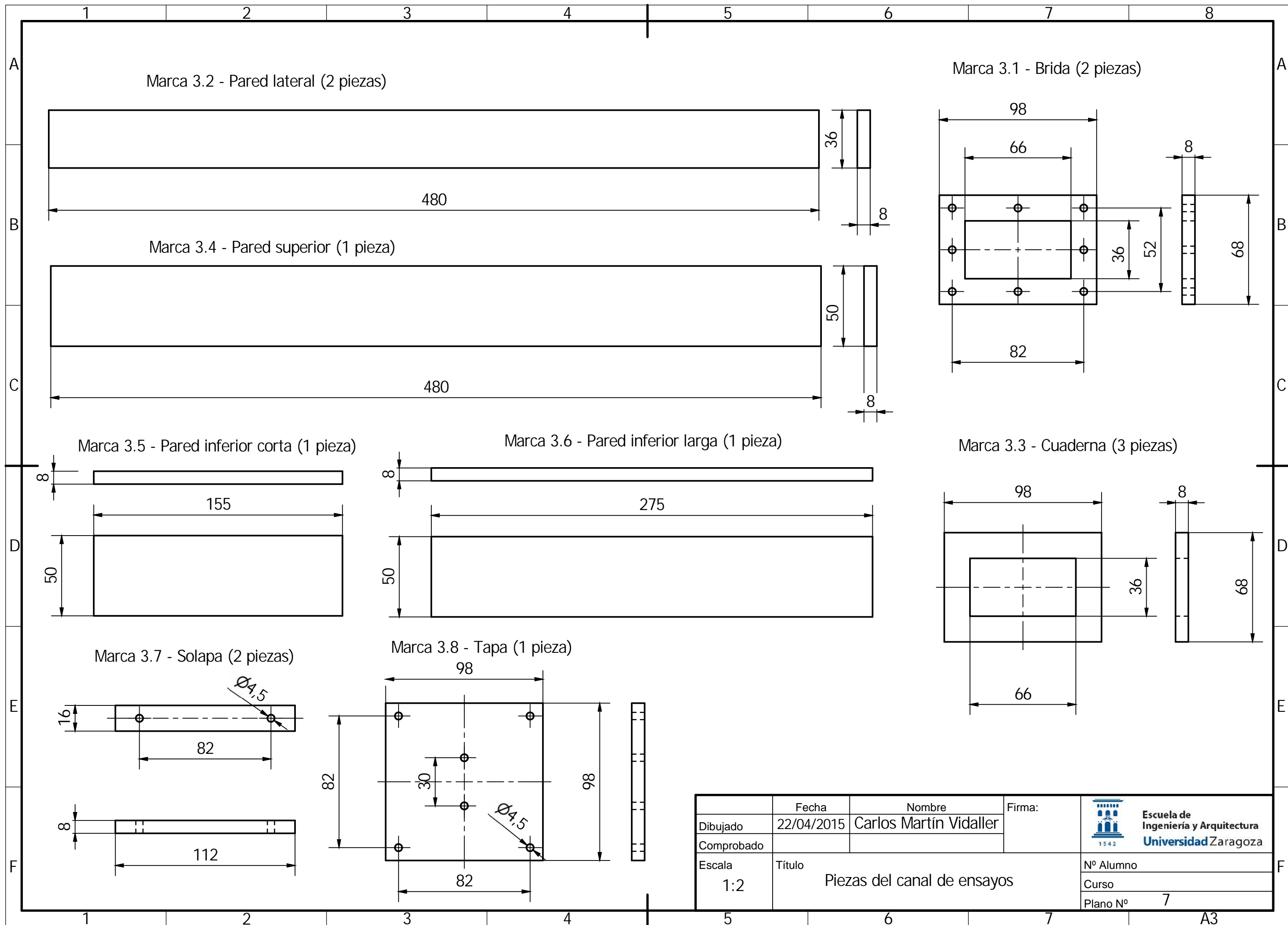
LISTA DE PIEZAS				
ELEMENTO	CTDAD	Nº DE PIEZA		DESCRIPCIÓN
2.1	1	Mitad con agujeros ciegos roscados		
2.2	1	Mitad con agujeros pasantes		
2.3	1	Pieza plana de unión		
		Fecha	Nombre	Firma:
Dibujado		22/7/2015	Carlos Martín Vidaller	
Comprobado				
		Título Conjunto 2. Adaptador		Nº Alumno
Escala 1:2				Curso
				Plano Nº 4

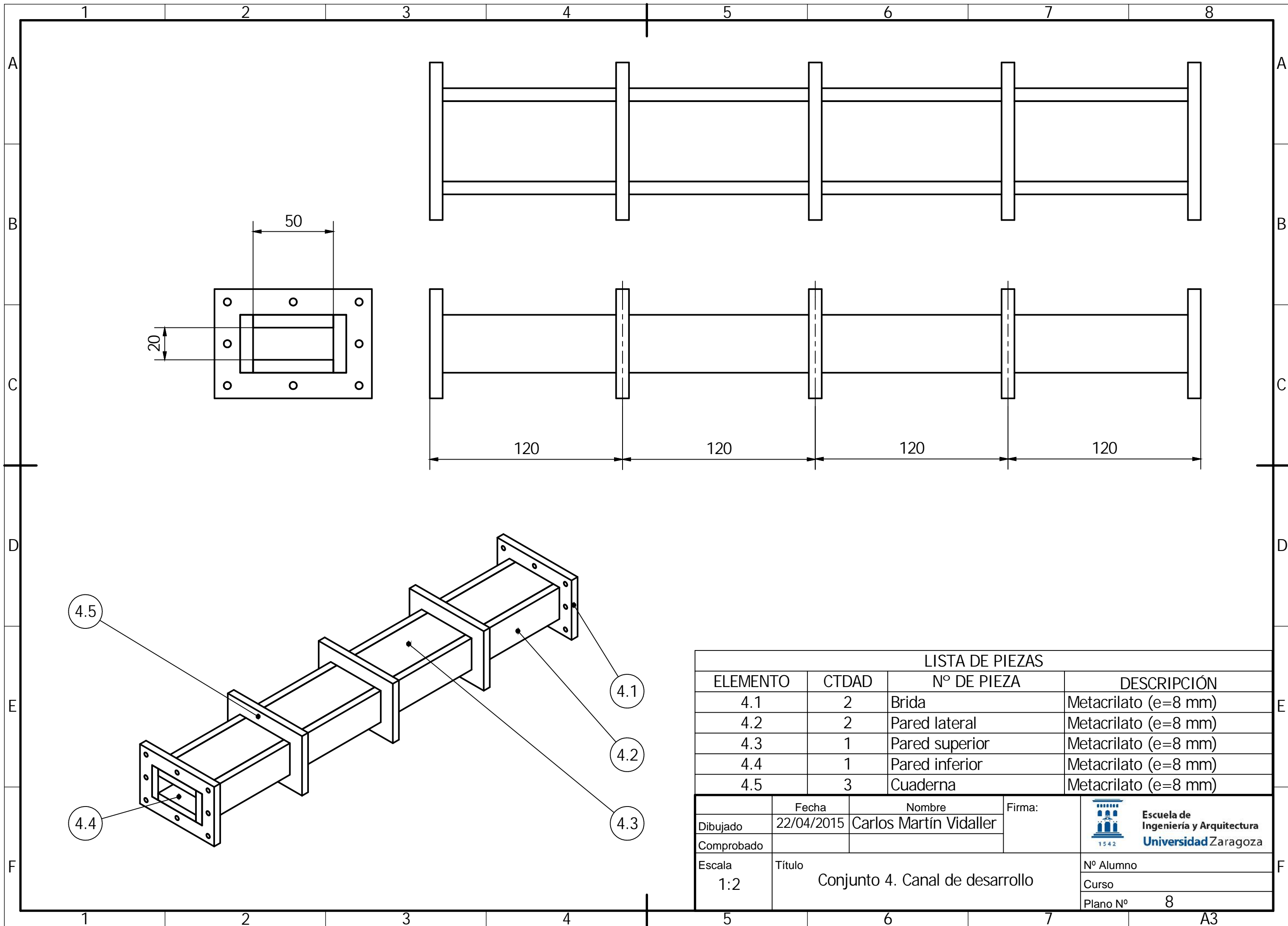


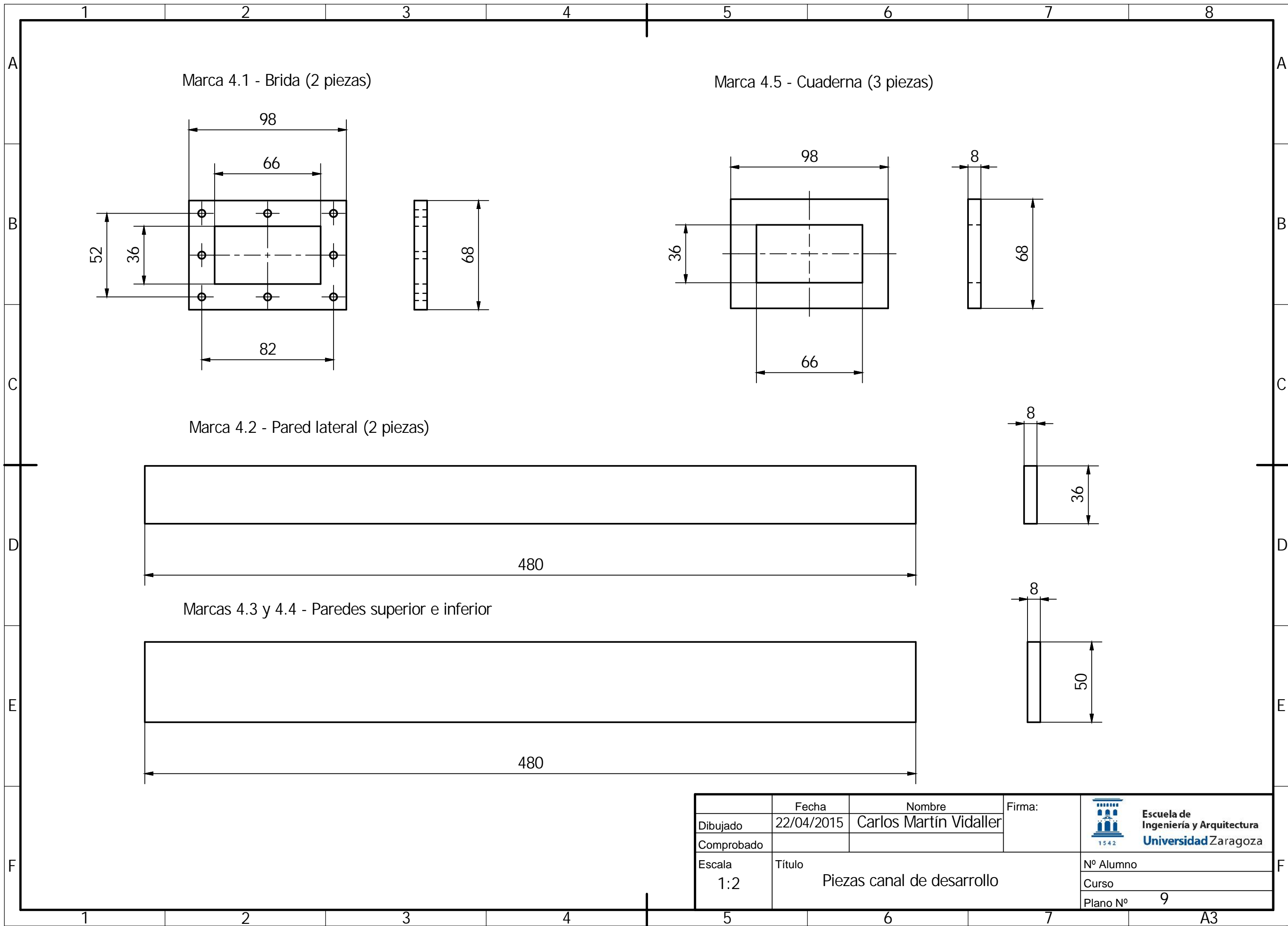
Escuela de
Ingeniería y Arquitectura
Universidad Zaragoza












	Fecha	Nombre	Firma:	 Escuela de Ingeniería y Arquitectura Universidad Zaragoza
Dibujado	22/04/2015	Carlos Martín Vidaller		
Comprobado				
Escala	Título			Nº Alumno
1:2	Piezas canal de desarrollo			Curso
				Plano Nº 9

Trabajo Fin de Grado

Diseño y construcción de una instalación
experimental para ensayos de cavitación
hidrodinámica

- Cálculos mecánicos –

Autor

Carlos Martín Vidaller

Directores

José Luis Santolaya Sáenz

Luis Manuel Cerecedo Figueroa

Zona de ensayos

El material en que está construido el canal es metacrilato. En la siguiente tabla se muestran sus propiedades:

Propiedad	Valor
Densidad	1,2 g/cm ³
Límite de elasticidad	48,9 MPa
Resistencia máxima a tracción	79,8 MPa
Módulo de Young	2,74 GPa
Coefficiente de Poisson	0,355
Módulo cortante	1,01107 GPa
Alargamiento a rotura	2,5 – 5%
Dureza Rockwell	En escala M:92
Resistencia a impacto Izod	16 – 32 J/m
Coefficiente de expansión térmica lineal	$70 \cdot 10^{-6} - 77 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$
Temperatura de trabajo	-40°C a 50-90°C dependiendo si trabajo continuo o no
Absorción de agua	< 0,2%
Resistencia UV	Excelente. No amarillea ni se fisura
Resistencia a ácidos minerales/orgánicos	Resistente
“ “ ácido acético	No resistente
“ “ ácido sulfúrico bicromático	No resistente
“ “ acetato de etilo	No resistente
“ “ aguarrás/alcohol	Medianamente resistente
“ “ benzol/butanol/cetonas	No resistente
“ “ cloruros	Resistente
“ “ detergentes	Medianamente resistente
“ “ ésteres	Medianamente resistente
“ “ etanol	No resistente
“ “ gasolina/glicerina	Resistente
“ “ halógenos	No resistente
“ “ hidrocarburos alifáticos	Resistente
“ “ hidrocarburos aromáticos	No resistente
“ “ lubricantes/aceites vegetales o minerales	Resistente
Resistencia a siliconas	Medianamente resistente
“ “ metanol	No resistente

Tabla 2-1. Propiedades del metacrilato.

El canal experimental debe tener suficiente rigidez y resistencia para soportar la fuerza que el agua va a ejercer en las paredes interiores. A continuación se muestra un análisis de las deformaciones y tensiones que aparecen al aplicar la carga en las paredes interiores hacia el exterior. Mediante la herramienta INVENTOR, se ha simulado el canal previo de acondicionamiento del flujo, con una presión interna distribuida de 3 bares (Figura 2-1). Dicho valor es sobredimensionado con respecto a las presiones que se darán en el experimento real (situación desfavorable). Los resultados en el canal que alberga el obstáculo serán prácticamente idénticos, y no se ha llevado a cabo la simulación.

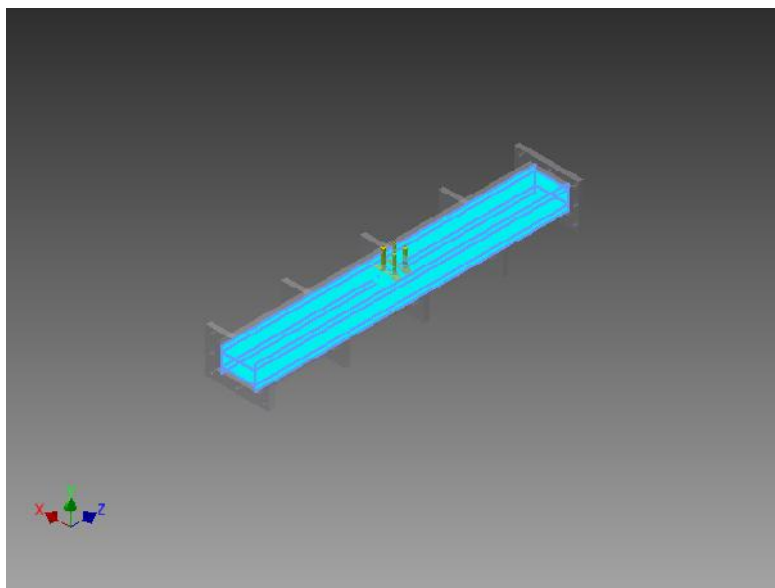


Figura 2-1. Carga distribuida de 3 barras en paredes interiores del canal

A la hora de crear la simulación, se han impuesto restricciones fijas en las aristas de las cuadernas y bridas que están en contacto con las paredes del canal (Figura 2-2). Así, cuando el canal tienda a abrirse por la acción de la presión interna, lo tendrá restringido en estas zonas. De lo contrario, se deformarían las cuadernas y bridas, y podría tener efectos negativos.

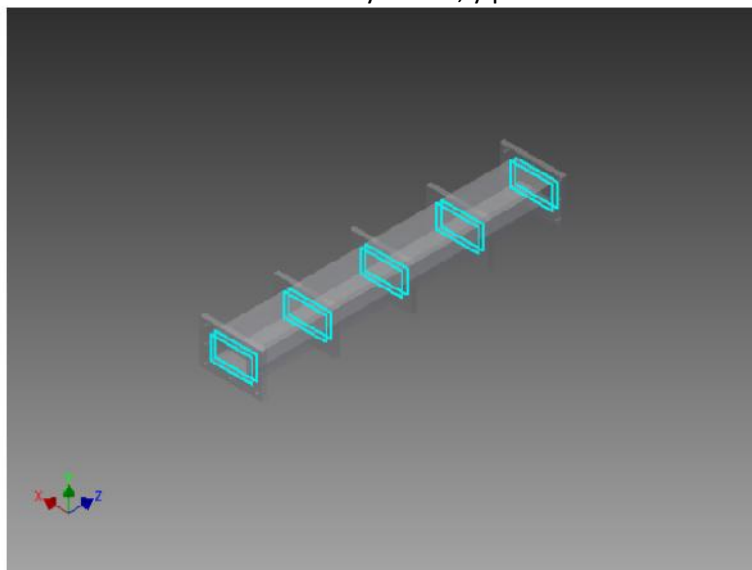


Figura 2-2: restricciones fijas

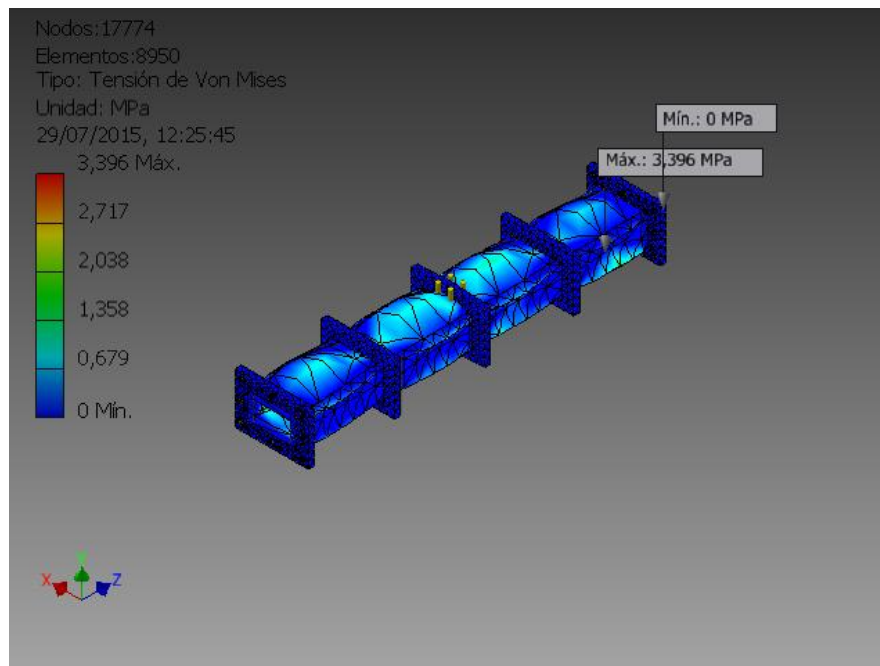
La configuración de la malla de la simulación se puede ver en la Tabla 2-2:

Característica	Valor
Tamaño medio de elemento (fracción del diámetro del modelo)	0,1
Tamaño mínimo de elemento(fracción del tamaño medio)	0,2
Factor de modificación	1,5
Ángulo máximo de giro	60º
Crear elementos de malla curva	No
Usar medida basada en pieza para la malla del ensamblaje	Sí

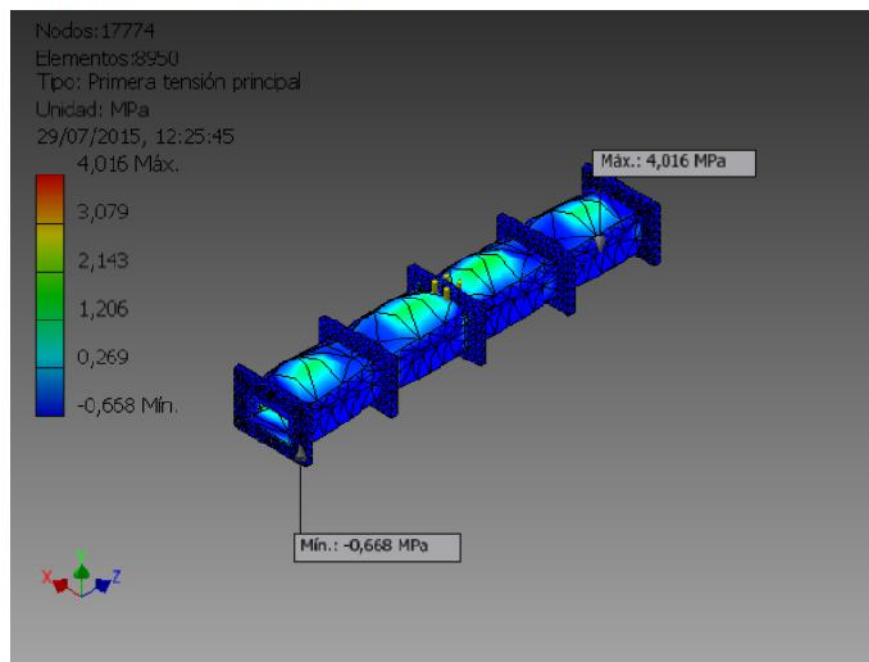
Tabla 2-2. Configuración de la malla

Estos son los resultados más importantes que se extraen de la simulación:

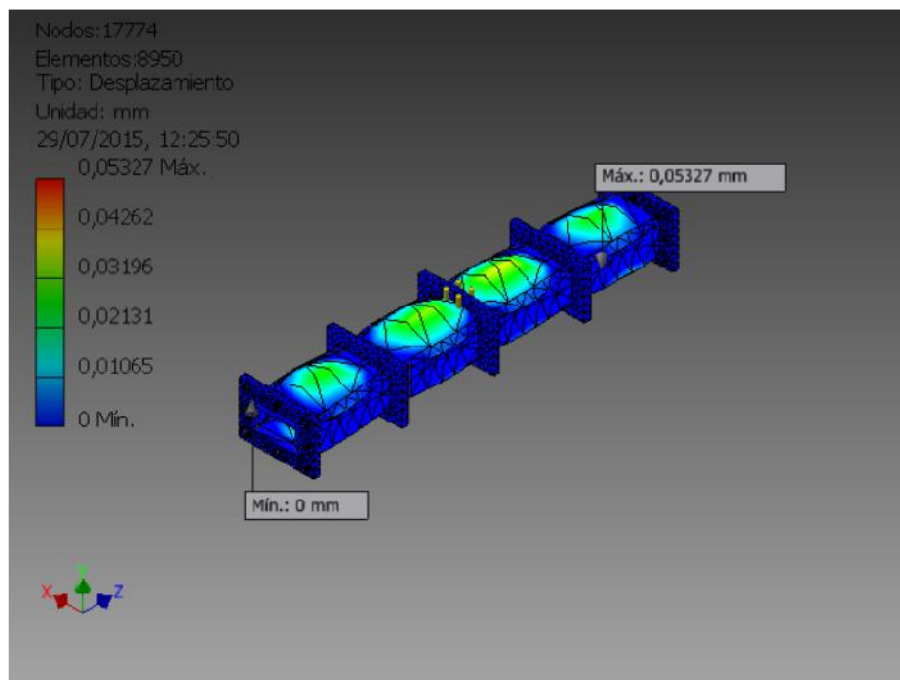
☐ Tensión de Von Mises



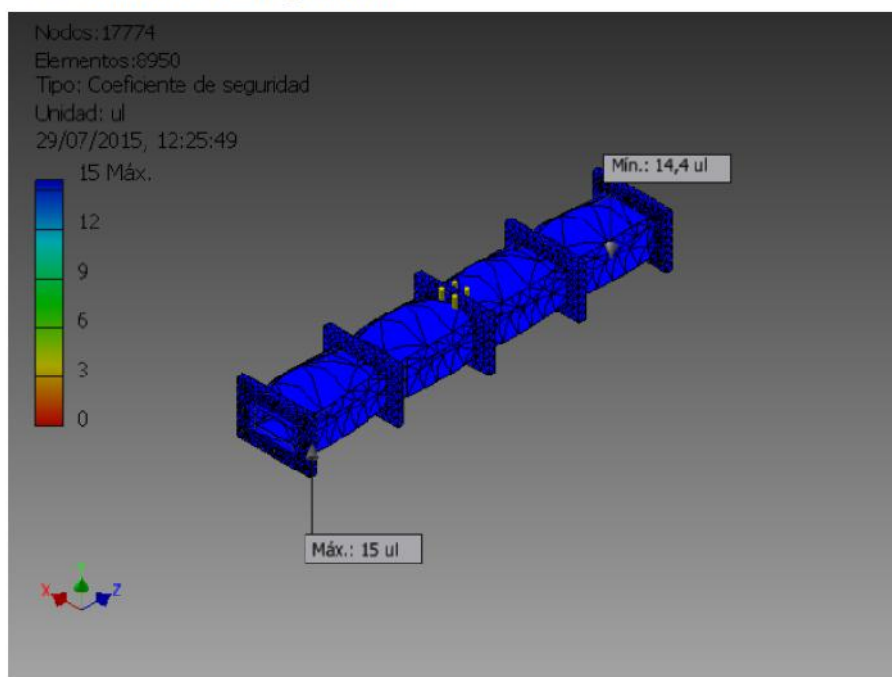
☐ Primera tensión principal



☐ Desplazamiento



☐ Coeficiente de seguridad



Como se aprecia en las imágenes anteriores, en la simulación se obtienen unos valores de tensión de von Mises, de desplazamientos y de coeficiente de seguridad favorables. El metacrilato del canal no tendrá problemas para soportar las presiones internas de 3 bares.

La Tabla 2-3 muestra un resumen de los resultados obtenidos en la simulación del canal de acondicionamiento:

Nombre	Mínimo	Máximo
Volumen		829964 mm ³
Masa		0,985998 kg
Tensión de Von Mises	0,000107282 MPa	3,39592 MPa
Primera tensión principal	-0,667798 MPa	4,01603 MPa
Tercera tensión principal	-2,36397 MPa	0,636419 MPa
Desplazamiento	0 mm	0,0532715 mm
Coefficiente de seguridad	14,3996 su	15 su
Tensión XX	-1,51719 MPa	2,33927 MPa
Tensión XY	-0,949765 MPa	0,961112 MPa
Tensión XZ	-0,793274 MPa	0,660157 MPa
Tensión YY	-1,82899 MPa	3,85832 MPa
Tensión YZ	-0,67633 MPa	0,918292 MPa
Tensión ZZ	-1,38984 MPa	1,66527 MPa
Desplazamiento X	-0,0180225 mm	0,0166291 mm
Desplazamiento Y	-0,0532405 mm	0,0446452 mm
Desplazamiento Z	-0,0136731 mm	0,00820312 mm
Deformación equivalente	0,0000000353697 su	0,00115386 su
Primera deformación principal	0,0000000329401 su	0,00126103 su
Tercera deformación principal	-0,000678291 su	0,00000107404 su
Deformación XX	-0,000667036 su	0,000709456 su
Deformación XY	-0,000469683 su	0,000475295 su
Deformación XZ	-0,000392294 su	0,000326465 su
Deformación YY	-0,000550615 su	0,00118304 su
Deformación YZ	-0,000334463 su	0,000454119 su
Deformación ZZ	-0,00018744 su	0,000386816 su
Presión de contacto	0 MPa	54,2871 MPa
Presión de contacto X	-20,709 MPa	21,4891 MPa
Presión de contacto Y	-43,2451 MPa	53,2754 MPa
Presión de contacto Z	-13,8554 MPa	13,0162 MPa

Tabla 2-3. Resumen de resultados

Estructura-soporte

Los perfiles de la estructura sobre la cual se monta la instalación son de acero. En la Tabla 2-4 se muestran algunas características de este material.

Propiedad	Valor
Densidad	7,85 g/cm ³
Módulo de elasticidad	200 GPa
Módulo de cizalladura	78 GPa
Coefficiente de Poisson	0,28
Límite elástico	350 MPa
Resistencia a tracción	420 MPa
Temperatura de fusión	≈ 1375 °C (según %C)
Punto de ebullición	≈ 3000 °C
Conductividad eléctrica	Alta: 3*10 ⁶ S/m
Tenacidad	Muy tenaz
Ductilidad	Relativamente dúctil
Maleabilidad	Maleable
Mecanizable	Permite buena mecanización
Dureza	
Soldabilidad	Puede soldarse fácilmente
Corrosible	Se oxida fácilmente

Tabla 2-4. Características del acero

La estructura debe ser capaz de soportar las cargas de peso de los componentes de la instalación y del líquido con el que se experimenta.

En la parte superior se estima un peso de 15 Kg, repartidos sobre una superficie de 1296 cm², con lo que obtenemos una presión de:

$$P_1 = \frac{F_1}{A_1} = \frac{m_1 * g}{A_1} = \frac{15\text{Kg}}{1296 \text{ cm}^2} = 0,0115 \text{ Kg/cm}^2$$

$$0,0115 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2} * \frac{9,86 \text{ N}}{\text{Kg}} * \frac{1 \text{ cm}^2}{100 \text{ mm}^2} * \frac{1 \text{ MPa}}{1 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}} = 0,0011 \text{ MPa}$$

De la misma forma se calcula la presión sobre la parte inferior de la estructura. En este caso se toman 500 Kg repartidos sobre los 2256 cm² de la base. Repitiendo el cálculo con los nuevos datos, obtenemos la presión buscada:

$$P_2 = \frac{F_2}{A_2} = \frac{m_2 * g}{A_2} = \frac{500\text{Kg}}{2256 \text{ cm}^2} = 0,22 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2} = 0,022 \text{ MPa}$$

En la Figura 2-3 se pueden ver estas cargas distribuidas en la herramienta de simulación de Inventor.

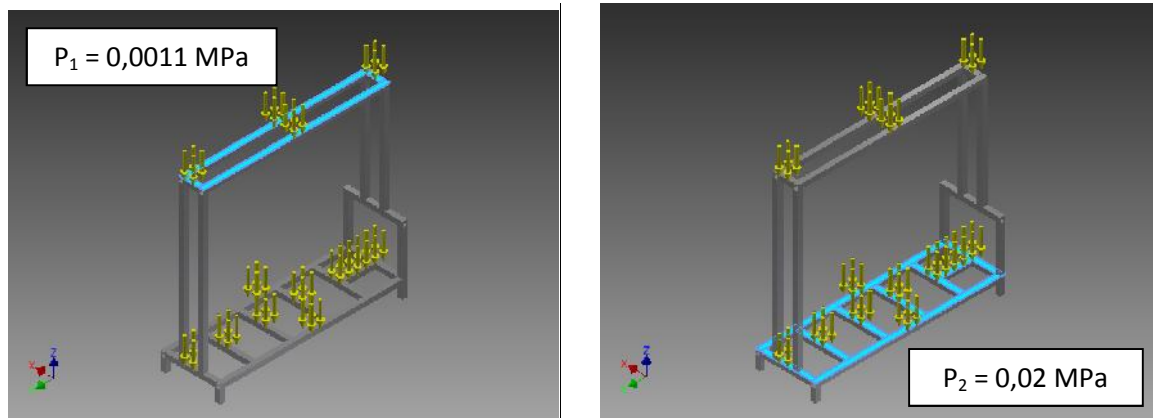


Figura 2-3. Introducción de las cargas en el simulador

Las restricciones fijas que se han impuesto en este caso es que la superficie de las patas esté siempre en contacto con el suelo (Figura 2-4):

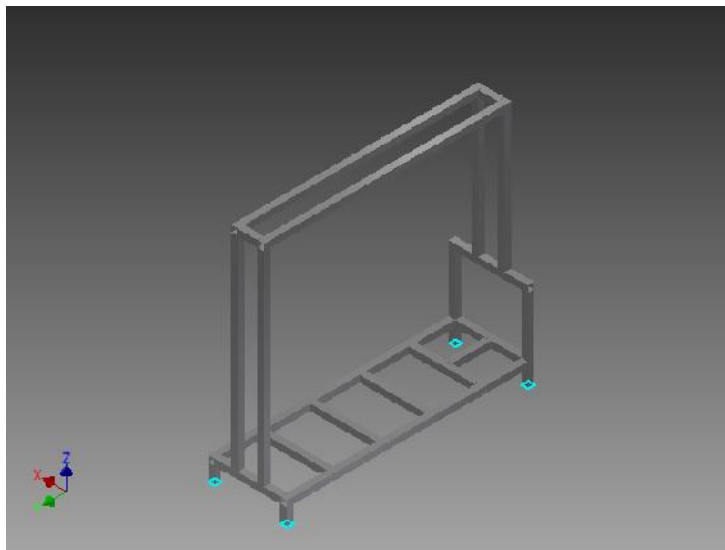
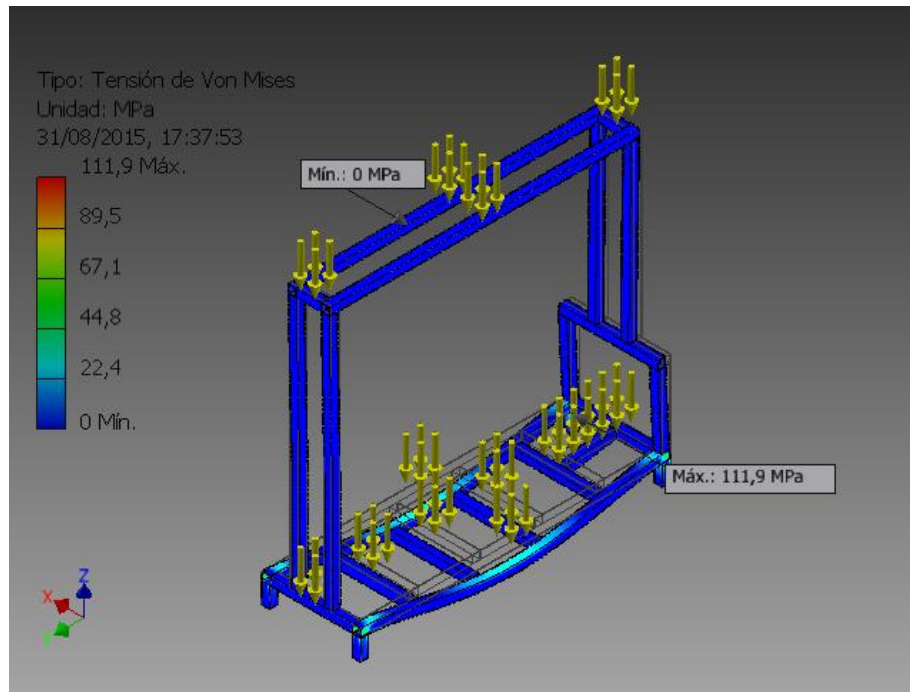


Figura 2-4. Restricciones fijas en las patas del soporte

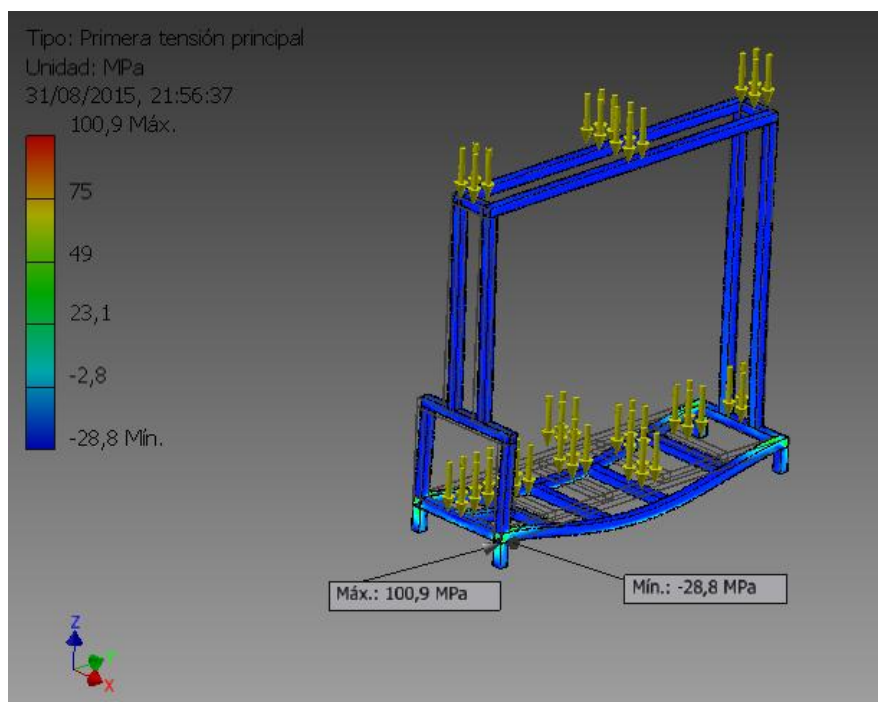
La malla está configurada con los mismos valores que la del canal estudiado anteriormente (Tabla 2-2)

A continuación se muestran las imágenes de los resultados más importantes obtenidos en la simulación.

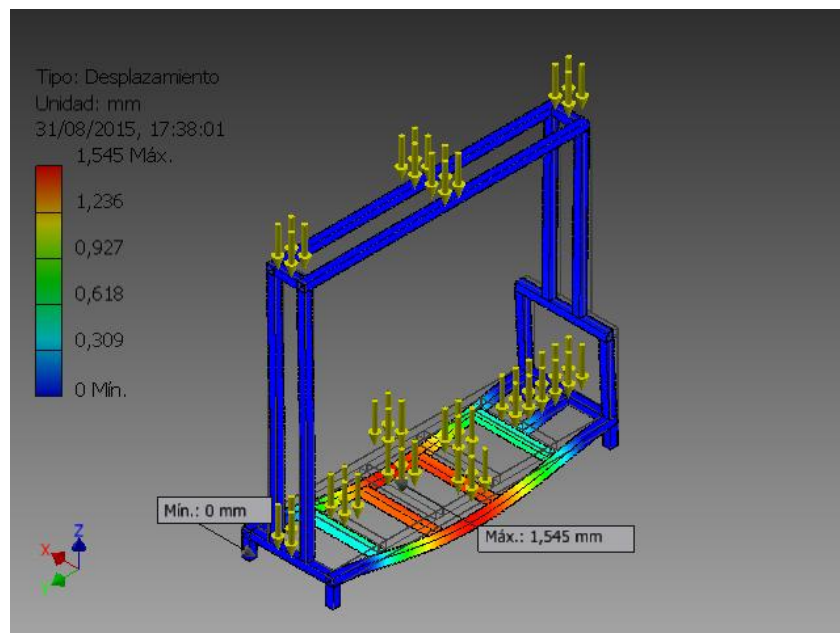
☐ Tensión de Von Mises



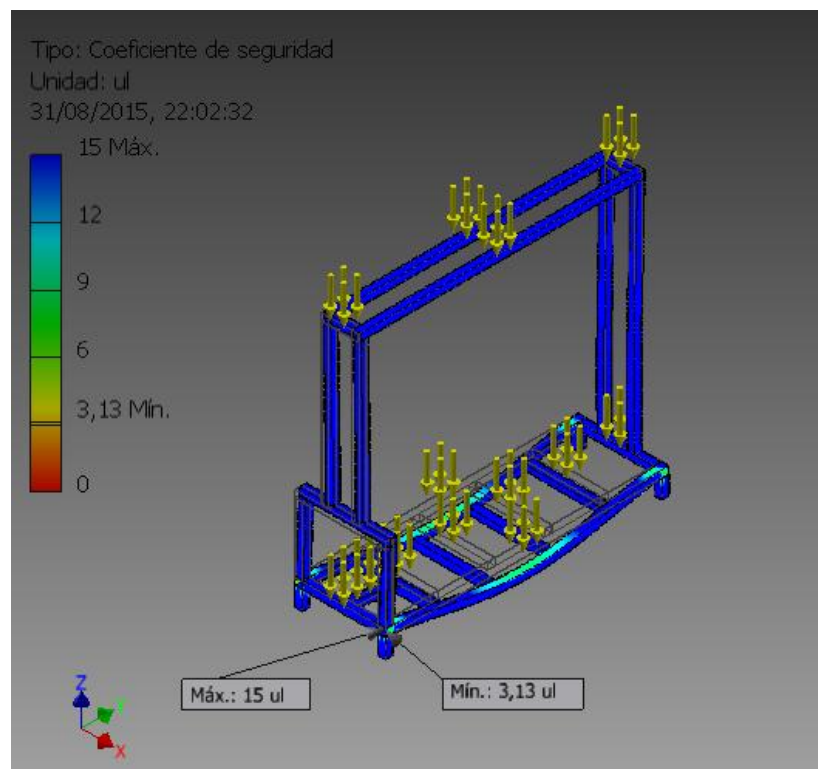
☐ Primera tensión principal



Desplazamiento



Coefficiente de seguridad



Nombre	Mínimo	Máximo
Volumen		4450560 mm ³
Masa		34,9369 kg
Tensión de Von Mises	0,0205981 MPa	111,872 MPa
Primera tensión principal	-28,7868 MPa	100,929 MPa
Tercera tensión principal	-100,814 MPa	8,60751 MPa
Desplazamiento	0 mm	1,54501 mm
Coefficiente de seguridad	3,12858 su	15 su
Tensión XX	-33,3636 MPa	25,508 MPa
Tensión XY	-20,6148 MPa	21,3872 MPa
Tensión XZ	-22,7551 MPa	22,7719 MPa
Tensión YY	-95,6852 MPa	73,8161 MPa
Tensión YZ	-41,9943 MPa	43,4434 MPa
Tensión ZZ	-100,67 MPa	99,6569 MPa
Desplazamiento X	-0,0152639 mm	0,015613 mm
Desplazamiento Y	-0,0825314 mm	0,331767 mm
Desplazamiento Z	-1,545 mm	0,0202192 mm
Deformación equivalente	0,0000000895556 su	0,000487698 su
Primera deformación principal	-0,0000134898 su	0,000486871 su
Tercera deformación principal	-0,000532692 su	0,00000289445 su
Deformación XX	-0,00014562 su	0,000183417 su
Deformación XY	-0,000132966 su	0,000137948 su
Deformación XZ	-0,00014677 su	0,000146879 su
Deformación YY	-0,000433036 su	0,000344026 su
Deformación YZ	-0,000270863 su	0,00028021 su
Deformación ZZ	-0,000531761 su	0,000478667 su
Presión de contacto	0 MPa	475,377 MPa
Presión de contacto X	-94,6633 MPa	103,844 MPa
Presión de contacto Y	-348,278 MPa	327,747 MPa
Presión de contacto Z	-179,582 MPa	396,425 MPa

Tabla 2-5. Resumen de resultados

Los resultados que se extraen de la simulación indican que la estructura diseñada será capaz de soportar las cargas a las que se va a someter.

Trabajo Fin de Grado

Diseño y construcción de una instalación
experimental para ensayos de cavitación
hidrodinámica

- Presupuesto -

Autor

Carlos Martín Vidaller

Directores

José Luis Santolaya Sáenz

Luis Manuel Cerecedo Figueroa

Universidad de Zaragoza / Escuela de Ingeniería y Arquitectura

Año 2015

En este anexo se detalla cuáles han sido los precios de los diferentes elementos que componen la instalación. Después de la hoja de cada componente, se adjuntan todos los presupuestos que se han manejado de él. En los casos con varios presupuestos, el elemento correspondiente al primero que aparece es el elegido para la instalación.

A continuación se muestra una tabla resumen de los precios definitivos de todas las partes que componen la instalación, así como su precio individual y la suma de todos.

Ud.	Nº de elemento	Concepto	Cantidad	Precio unitario (€)	Precio total (€)
m	1	Estructura	15,4	-	260
-	2	Bomba	1	603,79	603,79
-	3	Conjunto de canales de ensayos	1	251,68	251,68
-	4	Depósito	1	176,17	176,17
-	5	Rotámetro	1	672,76	672,76
-	6	Elementos unión tuberías	-	-	256,25
-	7	Adaptador	2	474,23	948,46
-	8	Tornillería y otros	-	46,67	46,67
				TOTAL (€)	3215,78

En las siguientes páginas se detallan individualmente.

1. Estructura

Unidad	Concepto	Cantidad
m	Poste vertical largo 40X40 (e=2)	2.48
m	Larguero inferior 40X40 (e=2)	3
m	Pata 40X40 (e=2)	0.4
m	Travesaño inferior 40X40 (e=2)	1.6
m	Poste vertical corto 40X40 (e=2)	0.8
m	Travesaño inferior esquina 40X40 (e=2)	0.96
m	Travesaño inferior bomba 40X40 (e=2)	0.24
m	Travesaño sobre bomba 40X40 (e=2)	0.48
m	Poste vertical sobre bomba 40X40 (e=2)	1.68
m	Travesaño superior 40X40 (e=2)	0.4
m	Larguero superior 40X40 (e=2)	3
Total		15.04

Unidad	Concepto	Cantidad	Precio unitario	Precio total
m	Material estructura	15.40	-	-
Horas	Mano de obra	-	-	-
TOTAL (€)				260

A continuación se presentan los diferentes presupuestos que se barajaron para la construcción de la estructura de la instalación.

TALLERES HIAR, S L

B50958271

Pol,Malpica C/F parcela 23 nave 1

50016 Zaragoza

Tel. 976 465 998 - Fax. 976 465 999

Nº CLIENTE	C.I.F/N.I.F	HOJA
00168	Q5018001-G	1
FECHA	Nº ALBARAN	Nº PROVEEDOR
31/03/2015	15/00427	

TORNO Y FRESA

MECANICA DE FLUIDOS.UNIVER.DE ZARAG

C/ MARIA DE LUNA Nº3

50018 ZARAGOZA

ZARAGOZA

Referencia	Descripción	Cantidad	Pecio/Unidad
	Pedido nº L.MANUEL DE 04/03/2015		
	* BASTIDOR S/PLANO	1,00	260,00000 €

mk Kitz Hispania S.L. • C/Buenos Aires, 59B • 50198 La Muela (Zaragoza)
Universidad de Zaragoza
C/Pedro Cerbuna, 12
50009 - Zaragoza

Dirección de entrega
Universidad de Zaragoza
Escuela Ingen. y Arquitectura
Dpto. Ingen. de Diseño y Fabr.

C/María de Luna, 3
50018 - Zaragoza

Tel.: 976 761 887
Fax.: 976 762 235

Presupuesto

Estimados Señores,

Gracias por su petición de oferta.
Le adjuntamos oferta de acuerdo a nuestras
condiciones generales de venta:

Número oferta : 101326
Fecha : 17.02.2015
Cliente No. : 10725
Fecha oferta : 17.02.2015
Notros referencia :
Su referencia : L.M. Cerecedo
Representante : mk Kitz Hispania cent

En caso de realizar pedido se ruega hacer
referencia al nº de oferta de mk dando por
aceptadas nuestras condiciones de venta.

Pos.	Cantidad Ud.	Artículo	Ud. / metro	Descuento	EUR-Total
10	2,000 Ud	54.01.0460 mk 2040.01	10,11 Ud		20,22
20	2,000 Ud	54.01.1460 mk 2040.01	29,05 Ud		58,10
30	6,000 Ud	54.01.0400 mk 2040.01	8,97 Ud		53,86
40	2,000 Ud	54.01.1240 mk 2040.01	24,88 Ud		49,77
50	2,000 Ud	54.01.1500 mk 2040.01	29,81 Ud		59,62
60	2,000 Ud	54.01.0120 mk 2040.01	3,67 Ud		7,35
70	2,000 Ud	54.01.0840 mk 2040.01	17,30 Ud		34,62
80	1,000 Ud	54.01.0480 mk 2040.01	10,49 Ud		10,49
90	1,000 Ud	54.01.0240 mk 2040.01	5,94 Ud		5,95
100	50,000 Ud	82.05.0055 Escuadra B40s2 con alma	4,27 Ud		213,50
110	100,000 Ud	D0912820 Tornillo cilíndrico DIN912 M8x	6,92 hUd		6,92
Suma parcial					520,40

mk Kitz Hispania S.L. • C/Buenos Aires, 59B • 50198 La Muela (Zaragoza)
Universidad de Zaragoza
C/Pedro Cerbuna, 12
Presupuesto

Página : 2

 Número oferta : 101326
 Fecha : 17.02.2015

Cliente : 10725

Representante : mk Kitz Hispania central

Pos.	Cantidad	Ud.	Artículo	Ud. / metro	Descuento	EUR-Total
Suma parcial						520,40
120	100,000	Ud	34.01.0001 Entrejunta 1 M8 20 x 20 x 6 mm	46,20	hUd	46,20
130	100,000	Ud	K111010017 arandela Ø 8	3,98	hUd	3,98
140	6,000	Ud	MK 2502 Remate 80x80mm	178,20	hUd	10,69
150	2,000	Ud	KOSTEN Kostenartikel (HORA MONTAJE)	36,00	Ud	72,00
TOTAL (excl. IVA)						653,27

Condiciones de entrega : Material retirado por personal de cliente de las instalaciones de mk Kitz Hispania

Forma de pago : Transferencia a 30 días f.f.

 Esta oferta
 caduca el : 18.05.2015

 Plazo de
 entrega : 0 día(s) laborable(s) más transporte

Términos y condiciones generales de mk Kitz Hispania S.L.:

Material propiedad de mk Kitz Hispania hasta su total abono.

PD: Portes y embalaje por cuenta cliente, serán incluidos en la factura.

 Si por circunstancias ajenas, se ejecutara un litigio el fuero será siempre
 elegido por mk Kitz Hispania.

Esperamos que quede satisfecho con su pedido.

 Saludos cordiales
 mk Kitz Hispania S.L.



Empresa : LIFTEC - CSIC / UZ
Persona de contacto : Antonio Pina Artal
Fecha : 10 de febrero de 2015
Nº de Oferta : **15OFR0074**

Código	Descripción	% Dto.	Cantidad	Unidad medida	Precio venta	Importe
4015000	PERFIL S 40*40	15	2,84	Metro	25,57	61,73
4015000	PERFIL S 40*40	15	2,56	Metro	25,57	55,64
4015000	PERFIL S 40*40	15	1,76	Metro	25,57	38,25
4015000	PERFIL S 40*40	15	2,76	Metro	25,57	59,98
4015000	PERFIL S 40*40	15	1,08	Metro	25,57	23,48
4015000	PERFIL S 40*40	15	2,8	Metro	25,57	60,86
4015000	PERFIL S 40*40	15	0,24	Metro	25,57	5,22
4015000	PERFIL S 40*40	15	0,56	Metro	25,57	12,17
4015000	PERFIL S 40*40	15	0,24	Metro	25,57	5,22
4016500	ESTRIBO SUJECION 40 r 40 ch L	15	36	Unidad	3,37	103,12
4010421	TAPA RECUBRIMIENTO S-40	15	6	Unidad	1,02	5,20
4014403	PLACA CONEXION TIPO S-40 M 10	15	6	Unidad	4,82	24,58
4016302	PIE TIPO M 10	15	6	Unidad	3,27	16,68
Total EUR						472,13
Importe IVA						99,15
Total EUR IVA incluido						571,28

Términos pago Primera operación por adelantado, resto a 60 días.
Forma pago Transferencia bancaria.

Plazo de entrega 1 - 2 semanas
Portes Debidos
Validez de la oferta Un mes
Tel. Phoenix Mecano 976 78 60 80

Delegado Jose Miguel Ortín
Correo jmorton@phoenix-mecano.es
Teléfono 629 393 580
Fax 976 787 088

Carlos Aladrén Madre
c.aladren@phoenix-mecano.es
Phoenix Mecano España, S.A.

2. Bomba centrífuga



Unidad	Concepto	Cantidad	Precio/Unidad (€)	Precio total (€)
	Bomba ESPA	1	603,79	603,79

En las siguientes páginas se adjuntan los presupuestos recibidos por parte de diferentes empresas distribuidoras. Se ha escogido la primera.



WATERING, S.L.L. CIF/NIF B22372114 C/ SAN JORGE, 3 POMAR DE CINCA 22413 HUESCA TEL. 974413399 FAX 974413399 www.watering.es info@watering.es	CLIENTE 000213 UNIVERSIDAD DE ZARAGOZA CALLE MARIA DE LUNA, Nº 3 ZARAGOZA 50018 ZARAGOZA CIF/NIF Q5018001-G
--	---

CONCEPTOS

Referencia	Descripción	Cantidad	Precio	% Dto.	% IVA	Total
Nº Albarán: 150023	Fecha: 27-02-15					
800009100001	ELECTROBOMBA CENTRIFUGA MONOBLOC MODELO CM32-160 A	1,00	499,00		21,0	499,00
		1,00				
DIRECCIÓN DE ENTREGA:						
LIFTEC-CSIC						
UNIVERSIDAD DE ZARAGOZA						
C/ MARIA DE LUNA, Nº 10						
50.018 ZARAGOZA						
TEL. DE CONTACTO 656.66.44.27 SR. LUIS MANUEL CERECEDO						

DESCUENTOS		IMPUESTOS			TOTALES	
% Dto. Esp.	% Dto. P.P.	Base Imponible	% IVA	Cuota	Portes	0,00
		499,00	21,0	104,79	Neto	499,00
					Total IVA	104,79
FORMA DE PAGO					TOTAL Euro	603,79
SABADELL 00817220120001160325						

LITEC
María de Luna, 10
50018 Zaragoza

Oferta

Número: 4002370928 - ES2

Fecha: 2015-02-19

Nº cliente: 900032067

Indicar estos datos en la correspondencia

Dpto.: EWO2S8-Spain_NO

P.contacto: Ignacio Duato

E-mail: ignacio.duato@ksb.com

Resp. Ventas: Ignacio Duato

Teléfono: + 34 (629) 110 260

A la atención de: Antonio Pina Artal
Su consulta: Z-150219-03 del 19.02.2015

Señores:

Nos agrada acompañar nuestra oferta que ha sido estudiada con arreglo a su estimada demanda.

Esta oferta está sujeta a nuestras condiciones generales de venta CGV-2011-07.

Rogamos asimismo tengan en consideración las observaciones y recomendaciones generales para las ofertas de equipos. Estas disposiciones no aplican a las ofertas de repuestos.

Los plazos de entrega están indicados en períodos laborables, de conformidad con el calendario laboral de KSB ITUR.

Pos.	Material	Nº de pieza	Cantidad	Unidad	Precio unitario	Importe Moneda (EUR)
000100	02000153 Bomba normalizada según EN 733 Bomba centrífuga de baja presión Etabloc ETB 065-040-315 GG AA11D300554 B horizontal IE3 # fulfills ErP 2017		1,00	PZS	1.893,00	1.893,00

Oferta

Número: 4002370928 - ES2

Fecha: 2015-02-19

Página: 2 / 2

LITEC
María de Luna, 10
50018 Zaragoza

Pos.	Material	Nº de pieza	Cantidad	Unidad	Precio unitario	Importe Moneda (EUR)
------	----------	-------------	----------	--------	-----------------	-------------------------

Posición alternativa a la posición 000100

000200	02000153		1,00	PZS	1.257,28	(1.257,28)
	Bomba normalizada según EN 733 Bomba centrífuga de baja presión Etabloc ETB 050-032-160 GG AA11D200402 B horizontal IE3 # fulfills ErP 2017					

Suma de las posiciones						1.893,00
Importe total (sin IVA)					EUR	1.893,00

Aviso: Posiciones alternativas no estan incluidas en el importe final!

Plazo de entrega: 3 semanas después de completa aclaración técnica y comercial del pedido y bajo reserva de venta mientras tanto.

Condiciones de entrega: DAP Incoterms 2010 según INCOTERMS
Tiempo de entrega establecido "Ex works" (salida de fábrica)

Condiciones de pago: Inmediatamente - Factura Proforma

Tipo de embalaje: A0: Estándar

Plazo de validez: 19.05.2015

Atentamente,

KSB ITUR

3. Canales de ensayos

Lo dividimos en el canal previo de desarrollo y en el canal de experimentación. En el montaje van unidos mediante atornillado de las bridas.

Canal previo de desarrollo

Unidad	Concepto	Cantidad
	Brida	2
	Pared lateral	2
	Cuaderna	3
	Pared superior	1
	Pared inferior	1

Unidad	Concepto	Cantidad	Precio unitario	Precio total
	Material canal experimentación	1	-	-
Horas	Mano de obra	-	-	-
			TOTAL	98 €

Canal de ensayos

Unidad	Concepto	Cantidad
	Brida	2
	Pared lateral	2
	Cuaderna	3
	Pared superior	1
	Pared inferior corta	1
	Pared inferior larga	1
	Solapa	1
	Tapa	1

Unidad	Concepto	Cantidad	Precio unitario	Precio total
	Material canal experimentación	1	-	-
Horas	Mano de obra	-	-	-
			TOTAL	110 €

Conjunto global

Concepto	Precio (€)
Precio canal desarrollo previo	98
Precio canal de experimentación	110
Precio total sin IVA	208
IVA (21%)	43,68
TOTAL	251,68

KRYFIL METACRILATO, S.L.
 Pol. Ind. Valdeconsejo
 C/ Pineta, Parc. 13-B2, Nave 6
 50410 CUARTE DE HUERVA (Zaragoza)
 T. 876 261034 / F. 876 261035
 web: www.kryfil.com / www.kryfil.es
 e-mail: info@kryfil.com / info@kryfil.es

C.I.F. B99227464

UNIVERSIDAD DE ZARAGOZA MECÁNICA...

C/ María de Luna, 3
 Zaragoza
 50018 ZARAGOZA

FACTURA Nº

A/4831

Fecha

24/03/2015

D.N.I./ N.I.F.

Q-5018001-G

Código	Cantidad	Descripción del Artículo	Precio unit.	Importe Neto
108	1	Conjunto de canal para ensayos de metacrilato (s/ Planos 1 y 2) en met. transp. 8 mm	98,00	98,00
108	1	Conjunto de canal para ensayos de metacrilato (s/ Planos 3 y 4) en met. transp. 8 mm	110,00	110,00

(Portes no incluidos. Recogida en Kryfil, por
medios del cliente)

Subtotal		Dto P.Pago	Base Imponible	IVA	Importe IVA	TOTAL FACTURA
208,00			208,00	21,00%	43,68	251,68 €

IBAN ES14 2085 0105 8903 3070 5481
 BIC code: CAZRES2Z

Vencimientos :

4. Depósito



Unidad	Concepto	Cantidad	Precio/Unidad	Precio total
	Depósito 300 L	1	145,60 € (sin IVA)	176,17 €

Solamente se pidió un presupuesto de depósito, el cual aparece adjunto en las siguientes páginas. Se compraron a la vez varios depósitos, pero el utilizado en este experimento es el de 300 L.

CLIENTE	PRESUPUESTO	FECHA	PÁGINAS
38780	134.272	16/02/15	1/2
A LA ATT.:			
REF. OBRA: DEPOSITO			

C.POLIT.SUP.UNIV.ZARAGOZA-EINA
CL MARIA DE LUNA 3
50009 ZARAGOZA
ZARAGOZA Tfno: 976351508
NIF: Q5018001G Fax: 0

Delegaciones: **Navarra** (Pamplona, Tudela), **Euskadi** (Bizkaia, Galdakao, Gipuzkoa, Araba), **Aragón** (Zaragoza, Alcañiz, Monzón), **Cataluña** (Cornellà, Barcelona, Sabadell, Granollers, Mataró, Pineda de Mar, Blanes, Girona, Vic, Reus, Tarragona, Valls, El Vendrell, Igualada, Tortosa, Lleida), **Madrid** (Móstoles, San Fernando), La Rioja, Santander, Soria.

CÓDIGO	CONCEPTO	CANTIDAD	PRECIO	DTO %	IMPORTE
2155100033	<p>DEPOSITO CILINDRICO 300L PE C/TAPA Ø60X116</p>  <p>Depósito troncoconico de base cilíndrica, calidad alimenticia fabricado con gelcoat isoftalico. Dimensiones diámetro sup.660 mm diámetro inf.600 mm altura 1160mm</p>	1,00	162,07	20	129,66
2155100050	<p>DEPOSITO CILINDRICO 500L PE C/TAPA Ø80X109</p>  <p>Depósito troncoconico de base cilíndrica, calidad alimenticia fabricado con gelcoat isoftalico. Dimensiones diámetro sup.860 mm diámetro inf.800 mm altura 1090 mm</p>	1,00	230,67	20	184,54
2155105025	<p>DEPOSITO RECTANGULAR 300L POLIESTER C/TAPA 104X72X57</p>  <p>Depósito troncoconico de base rectangular, calidad alimenticia fabricado en gelcoat isoftalico. Dimensiones longitud 1040mm, anchura 720mm, altura 570 mm</p>	1,00	182,00	20	145,60
2155105030	<p>DEPOSITO RECTANGULAR 500L POLIESTER C/TAPA 120X97X61</p>  <p>Depósito troncoconico de base rectangular, calidad alimenticia fabricado en gelcoat isoftalico. Dimensiones longitud 1200mm, anchura 970mm, altura 610 mm</p>	1,00	235,00	20	188,00

Con la compra de tan sólo 2 calderas ¡elige tu regalo!



TABLET SAMSUNG GALAXY 7"



CAZADORA 3 EN 1 NORTH FACE



SMARTPHONE WIKO HIGHWAY

PROMOCIÓN EXCLUSIVA DEL 12 AL 28 DE FEBRERO DE 2015

Consulta las bases de la promoción con **tu comercial** o en tu **centro Saltoki**

CLIENTE 38780	PRESUPUESTO 134.272	FECHA 16/02/15	PÁGINAS 2/2
A LA ATT.:			
REF. OBRA: DEPOSITO			

C.POLIT.SUP.UNIV.ZARAGOZA-EINA
CL MARIA DE LUNA 3
50009 ZARAGOZA
ZARAGOZA Tfno: 976351508
NIF: Q5018001G Fax: 0

Delegaciones: **Navarra** (Pamplona, Tudela), **Euskadi** (Bizkaia, Galdakao, Gipuzkoa, Araba), **Aragón** (Zaragoza, Alcañiz, Monzón), **Cataluña** (Cornellà, Barcelona, Sabadell, Granollers, Mataró, Pineda de Mar, Blanes, Girona, Vic, Reus, Tarragona, Valls, El Vendrell, Igualada, Tortosa, Lleida), **Madrid** (Móstoles, San Fernando), La Rioja, Santander, Soria.

CÓDIGO	CONCEPTO	CANTIDAD	PRECIO	DTO %	IMPORTE

IMPORTE NETO 647,80	IVA 21% 136,04	IMPORTE TOTAL 783,84
------------------------	-------------------	-------------------------

VALIDEZ DE LA OFERTA: 10 DIAS

ATENDIDO POR: Roberto Tame Gracia

FORMA DE PAGO: TRANSFERENCIA A 90 PLAZO DE ENTREGA:

FORMA DE TRANSPORTE:

OFERTA PARA LA TOTALIDAD DEL PRESUPUESTO

ACEPTADO, EL CLIENTE

Con la compra de tan sólo 2 calderas ¡elige tu regalo!



TABLET SAMSUNG GALAXY 7"



CAZADORA 3 EN 1 NORTH FACE



SMARTPHONE WIKO HIGHWAY

PROMOCIÓN EXCLUSIVA DEL 12 AL 28 DE FEBRERO DE 2015

Consulta las bases de la promoción con tu comercial o en tu centro Saltoki

5. Rotámetro



Unidad	Concepto	Cantidad	Precio/Unidad sin IVA (€)	Precio total (€)
	Rotámetro	1	556	672,76

En las siguientes páginas aparece la factura del rotámetro que se compró.



SUMINISTROS ELECTRÓNICOS ARAGÓN, S.A.
ALMACENES DE MATERIAL ELÉCTRICO Y AUTOMATISMOS

www.seazaragoza.com

C/Batalla de Lepanto, 5-7
50002 Zaragoza
Telf. (+34) 976 49 52 14
Fax. (+34) 976 42 31 75

Parque Empresarial - "El Águila-Coors"
C/ Holanda nº 27
Ctra Logroño, km 13,5, 50180 UTEBO (Zaragoza)
Tel.: 0034 976/787227
Fax: 0034 976/787028



ISO 9001



OFERTA

Nº / Fecha Oferta: 029236 18/02/2015

Comercial: Hugo Rodríguez
Oferta realizada por: Hugo Rodríguez
Tel.: 976/495214
Fax: 976/423175
e-mail: hrodriguez@seazaragoza.com

VALIDEZ OFERTA: 30 días
RG-03.03 Página 1 de 2

Empresa: LIFTEC
Dirección: MARÍA LUNA, Nº10
Población: ZARAGOZA

A la atención Sr./Srta.: ANTONIO PINA
E-mail: ANTONIO@LIFTEC.CSIC.ES
Nº Teléfono: 976506520
Fax:

Concepto de la oferta:

POS	DESCRIPCION	CANTIDAD	PRECIO/U.	%DTO.	TOTAL
1.	ROTÁMETRO DE ÁREA VARIABLE 6001/Fe 1,6-16 m3/h, 2-20 m3/h o 2,5-25 m3/h agua 20°C Flotador AISI316L Conexión rosca BSP-F 2 ½" en acero pintado Montura en acero pintado Juntas NBR Vertical ascendente	2	556,00 €	NETO	556,00 €
2.					
3.					
4.					
5.					
6.					
7.					
8.					
9.					
10.					
11.					
12.					
13.					
14.					
15.					
16.					
17.					
18.					
19.					
20.					
21.					
22.					
23.					
24.					
25.					
26.					

PRECIO TOTAL SIN IVA: 556,00 €

PLAZO DE ENTREGA: 1 SEMANA

NOTA:

<p>Observaciones:</p> <p>Precios exclusivos para las cantidades ofertadas y para la totalidad de la oferta, para otras cantidades, consultar.</p> <p>Por favor, asegúrense que las referencias ofertadas son las solicitadas.</p> <p>En caso de aceptación, confirmar pedido por escrito indicando nuestro número de oferta.</p> <p>Los precios tendrán vigencia hasta la fecha de validez de la oferta.</p> <p>Prevalecerán las condiciones de la oferta frente a las condiciones habituales del cliente.</p> <p>Los plazos de entrega son orientativos, exonerando al ofertante de cualquier tipo de indemnización por la variación en ellos.</p>
--

6. Elementos de conexión / racorería

A continuación se citan las piezas que se han adquirido para conectar las diferentes partes de la instalación. Hay diferencias con respecto al listado del capítulo 3 en los materiales y en la selección de los conectores utilizados. Fueron pedidas según vieron conveniente los encargados del montaje. Además, de un proveedor a otro hay variaciones, pero el objetivo de las piezas es el mismo.

1. Depósito - bomba

Unidad	Concepto	Cantidad	Precio unitario (€)	Precio total (€)
	Pasamuros para ácidos 2"	1	14,41	14,41
	Válvula compuerta de goma 2"	1	50,49	50,49
	Machón doble PVC serie roscar 2"	1	2,04	2,04

2. Bomba - rotámetro

Unidad	Concepto	Cantidad	Precio unitario (€)	Precio total (€)
	Rosca doble 245 latón 2 x 1 ¹ / ₄ "	1	7,45	7,45
	Reducción 241 latón 2 ¹ / ₂ x 2"	1	13,39	13,39

3. Rotámetro - canal

Unidad	Concepto	Cantidad	Precio unitario (€)	Precio total (€)
	Reducción 241 latón 2 ¹ / ₂ x 2"	1	13,39	13,39
	Machón doble PVC serie roscar 2"	1	2,04	2,04
	Manguito H PVC serie mixta 63x2"	1	2,47	2,47
	Codo 90 PVC serie lisa 63	1	2,17	2,17
	Manguito brida PVC serie lisa 63	1	2,10	2,10
	Brida PVC serie lisa 63	1	3,90	3,90

4. Canal - depósito

Unidad	Concepto	Cantidad	Precio unitario (€)	Precio total (€)
	Manguito brida PVC serie lisa 63	1	2,10	2,10
	Brida PVC serie lisa 63	1	3,90	3,90
	Codo 90 PVC serie lisa 63	2	2,17	4,34
	Manguito H PVC serie mixta 63x2"	1	2,47	2,47
	Pasamuros para ácidos 2"	1	14,41	14,41

5. Desagüe del depósito

Unidad	Concepto	Cantidad	Precio unitario (€)	Precio total (€)
	Pasamuros para ácidos 1 1/4"	1	11,33	11,33
	Codo 092-90 M-H bronce 1 1/4"	1	14,90	14,90
	Válvula tuler mariposa HH 1 1/4"	1	15,74	15,74

6. Tubo de PVC

Unidad	Concepto	Cantidad	Precio unitario (€)	Precio total (€)
m	Tubo liso PVC UNE-ISO 1452 W 10/63	5	5,72	28,61

Sumando las partes de cada tramo:

TOTAL SIN IVA (€)	IVA 21% (€)	TOTAL (€)
211,78	44,47	256,25

Se adjunta el presupuesto de los elementos anteriores. El precio total no coincide con el de la tabla anterior porque algunos de los elementos que aparecen en el albarán se han incluido en el Apartado 8 del presupuesto.



SANEAMIENTOS ZARAGOZA, S.A.
 CIF. A50034404
 C/ Alcalde Caballero, n° 16 Pgno. Cogullada
 50014 ZARAGOZA
 Tfno.: 976 47 25 00 Fax: 976 47 00 73
 E-mail: zaragoza@saltoki.es

536000035

Delegaciones: Navarra (Pamplona, Tudela), Euzkadi (Bilbao, G. Puzos, Arabe), Aragón (Zaragoza, Alcañiz, Monzón), Cataluña (Cornellà, Barcelona, Sabadell, Granollers, Mataró, Pineda de Mar, Blanes, Girona, Vic, Reus, Tarragona, Valls, El Vendrell, Igualada, Tortosa, Lleida), Madrid (Móstoles, San Fernando), La Rioja, Santander, Soria.

REF. PROVEEDOR

FACTURA

CLIENTE	FECHA	NÚMERO	HOJA
37798	30-05-2015	46337	1

LIFTEC-CSIC
 CL MARIA DE LUNA 10
 50018 ZARAGOZA
 ZARAGOZA



N.I.F. Q2818002D 2315001001003-046337

SANEAMIENTOS ZARAGOZA S.A. INSCRITA EN EL REGISTRO MERCANTIL DE ZARAGOZA, TOMO 204, GENERAL 118, SECCIÓN 3, FOLIOS 106-112, HOJA 3581, LIBRO DE SOCIEDADES

CÓDIGO	CANTIDAD	CONCEPTO	PRECIO	% DTO	IMPORTE
ALBARAN No. 343.992 FECHA 28-05-2015					
2054400007	1,00	VALVULA COMPUERTA GOMA 2	63,110	20	50,49
5100000060	4,00	ABRAZADERA ISOFONICA REFORZADA 2 MB/10 60 2	1,530	30	4,28
1255098054	1,00	ROSCA DOBLE 245 LATON 11/4X1	4,340	20	3,47
1552091044	1,00	RACOR FIJO H 32X1 RETICULADO B&F	15,120	25	11,34
1255098075	1,00	ROSCA DOBLE 245 LATON 2X11/4	9,310	20	7,45
1255097087	2,00	REDUCCION 241 LATON 21/2X2	16,740	20	26,78
2050000105	1,00	VALVULA TULLER MARIPOSA HH 11/4 PN30	24,210	35	15,74
2184500002	1,00	LIMPIADOR PVC GYMCOOL 250ML	3,700	20	2,96
2181000005	1,00	PEGAMENTO UNEPLAS PINCEL 500ML PARA PVC EVACUACION	10,090	20	8,07
4250000060	1,00	BOLSA 4UDS JUEGO AMORTIGUADORES SUELO AS6020 M10	4,000	NETO	4,00
4250005100	4,00	AMORTIGUADOR SUELO S-0 300KG	4,800	NETO	19,20
2159555005	1,00	PASAMUROS PARA ACIDOS 11/4	14,160	20	11,33
2159555007	2,00	PASAMUROS PARA ACIDOS 2	18,020	20	28,83
1254005092	1,00	CODO 092-90 M-H BRONCE 11/4	19,860	25	14,90
1801006275	4,00	MANGUITO BRIDA PVC SERIE LISA 63	2,800	25	8,40
1801006321	4,00	BRIDA PVC SERIE LISA 63	5,210	25	15,63
1801006090	2,00	CODO 90 PVC SERIE LISA 63	2,890	25	4,34
1802090067	1,00	CODO 90 H PVC SERIE MIXTA 63X2	4,390	25	3,29
1802007280	4,00	MACHON DOBLE PVC SERIE ROSCAR 2	2,720	25	8,16
1802091067	3,00	MANGUITO H PVC SERIE MIXTA 63x2	3,290	25	7,40
ALBARAN No. 344.054 FECHA 29-05-2015					
1800000406	1,00	CONJUNTO PVC PRESION UNE-ISO 1452 W 10/63 SERIE LISA	7,630	25	28,61
<div> <div> <p>CONFORME PAGUESE</p> <p>Aplicación 46337-2-1199-033</p> <p>Naturaleza 6289-01-01 suministros</p> <p>Cuenta imputación interna 602002-01-01</p> <p>La Gerente (Anexado)</p> </div> </div>					
ENTRADA N.º 024-100					
IMP. BRUTO	284,67	DESCUENTOS	0		
BASE IMPONIBLE	284,67	%	21,00	I.V.A.	59,78
					TOTAL 344,45
FORMA DE PAGO					TOTAL
TRANSPERENCIA A 30					
29-06-2015 344,45					344,45
IBAN.: ES64 2095 0193 4203 0003 7195					

STILLÖ

Nuevos platos de ducha de piedra natural

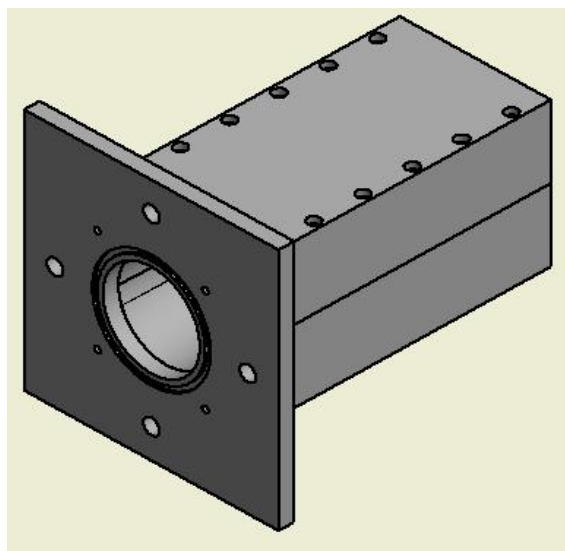


2 cm de grosor, extraplano
 Antideslizante Clase 3
 Fabricación a medida

Tratamiento nanotecnológico que otorga:
 Antibacteriano 100%
 Protección hidrofugante y oleofugante

10 AÑOS DE GARANTÍA

7. Adaptadores



Ud	Concepto	Cantidad	Precio unitario (€)	Precio total sin IVA(€)	IVA 21% (€)	Precio total con IVA (€)
	Adaptador	2	391,93	783,85	164,6	948,46

Las dos páginas siguientes contienen la factura del rotámetro cuya construcción se llevó a cabo.



Servicio General de Apoyo
a la Investigación - SAI
Universidad Zaragoza

Servicio de mecánica de precisión

Edificio Torres Quevedo
C/ María de Luna 3, 50018 Zaragoza-España
Teléfono : (34) 9767611972
Fax : (34) 976761169
mecprec@unizar.es

Datos de control **ALBARÁN Nº 437_4366**

Presupuesto relacionado Nº
Fecha de solicitud 07/05/2015 10:29:42 AM
IP solicitante 155.210.32.72
Solicitante
Cesar DOPAZO GARCIA
Email: dopazo@unizar.es
Teléfono: 976765034
Fecha de inicio 11/05/2015

Datos de la solicitud

Responsable DOPAZO GARCIA, Cesar Cód. 282-199
Pagador DOPAZO GARCIA, Cesar
Proyecto CIENCIA Y TECNOLOGIA DE MATERIALES Y FLUIDOS
Dirección EDIFICIO TORRES QUEVEDO
ESCUELA DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
Email (responsable) dopazo@unizar.es Tfno (responsable) 843054

Descripción del trabajo

Nombre Fabricación 2 conjuntos Canal de Flujo. Mecanizado canales metacrilato.
Observaciones

Trabajos realizados

Código	Concepto	Cantidad	Precio	Importe
437040	Operaciones Auxiliares (Montar eje y rodamientos)	2,00 h.	15,00€	30,00€
437003	Fresadora CNC-88 (Acoplar visores)	4,00 h.	15,00€	60,00€
437102	Material (DELFIN 50 x 100 x 820 mm)	1,00	90,32€	90,32€
437102	Material (2x DELFIN 12 x 168 x 168 mm)	1,00	23,32€	23,32€
437102	Material (juntas tóricas)	1,00	9,61€	9,61€
437043	Ajustes CAD y nuevas geometrías (ranuras tóricas)	3,00 h.	25,00€	75,00€
437003	Fresadora CNC-88 (Tapas POM)	4,75 h.	15,00€	71,25€

SIGUE EN PÁGINA 2 >>

Por el servicio:

Fecha: 18/06/2015

Firma

Tanque Aragón

Total a pagar (IVA no incluido)

783,85€



Servicio General de Apoyo
a la Investigación - SAI
Universidad Zaragoza

Servicio de mecánica de precisión

Edificio Torres Quevedo
C/ María de Luna 3, 50018 Zaragoza-España
Teléfono : (34) 9767611972
Fax : (34) 976761169
mecprec@unizar.es

Datos de control ALBARAN N° 437 4366

Presupuesto relacionado Nº

Fecha de solicitud 07/05/2015 10:29:42 AM

IP solicitante 155.210.32.72

Solicitante

Cesar DOPAZO GARCIA

Email: dopazo@unizar.es

Teléfono: 976765054

Fecha de inicio 11/05/2015

437003	Fresadora CNC-88 (Canales PQM)	22,38	h.	15,00€	335,70€
437003	Fresadora CNC-88 (Canales PMMA)	4,91	h.	15,00€	73,65€
437040	Operaciones Auxiliares (roscado agujeros)	1,00	h.	15,00€	15,00€

Por el servicio:

Fecha: 18/06/2015

Firma

Total a pagar (IVA no incluido) 783,85€

2 / 2

8. Tornillería y otros elementos

Los elementos de unión y sujeción (tornillos, tuercas, abrazaderas, etc.) son muy importantes para un correcto montaje y funcionamiento de la instalación. De gran parte de estos elementos ya se disponía en el taller en el cual se ha llevado a cabo la construcción de la instalación. Por ello no se tienen los albaranes correspondientes a esta parte del presupuesto.

Ud	Concepto	Cantidad	Precio unitario (€)	Precio total (€)
	Tornillo hexagonal M10 x 40, DIN 933 (Embridado)	8	0,084	0,672
	Tuerca hexagonal M10 DIN, 934 (Embridado)	8	0,02	0,16
	Arandela plana M10, DIN 125(Embridado)	16	0,011	0,176
	Abrazadera isofónica (Sujeción desagüe)	2	0,25	0,50
	Tornillo M10x70, DIN 912 (Fijar bomba)	2	0,36	0,72
	Tuerca hexagonal M10, DIN 934 (Fijar bomba)	2	0,02	0,04
	Arandela plana M10, DIN 125 (Fijar bomba)	4	0,011	0,044
	Rueda de la estructura	4	4,80	19,2
	Pata/amortiguador	4	4	16
	Tornillo M4x60, DIN 912 (Unión partes adaptador)	24	0,15	3,6
	Tornillo M4x20 cabeza avellanada DIN 7991 (Pieza plana adaptador)	8	0,162	1,296
	Tornillo M4x20, DIN 912 (Unión canal - adaptador)	8	0,04	0,32
	Arandela plana M4, DIN 125 (Unión canal - adaptador)	8	0,0021	0,0168
	Pasador posicionamiento adaptador Ø6x14, DIN 6325	2	0,83	1,66
	Fleje metálico para fijar adaptadores al soporte	2	0,3	0,6
	Tornillo M6x40, DIN 912 (Fijar flejes de adaptadores)	4	0,10	0,4
	Tuerca hexagonal M6, DIN 934 (Sujeción flejes de adaptadores)	4	0,0048	0,0192
	Arandela plana M6, DIN 125 (Sujeción flejes de adaptadores).	8	0,004	0,032
	Tornillo M6x60, DIN 912 (Fijar los travesaños de apoyo del canal)	6	0,14	0,84
	Tuerca hexagonal M6, DIN 934 (Fijar travesaños de apoyo del canal)	6	0,0048	0,0288
	Arandela plana M6, DIN 125 (Fijar travesaños de apoyo del canal)	12	0,004	0,048
	Abrazadera tramo 3 de tubería	1	0,30	0,3
TOTAL				46,67